



PCT

特許協力条約に基づいて公開された国際出願

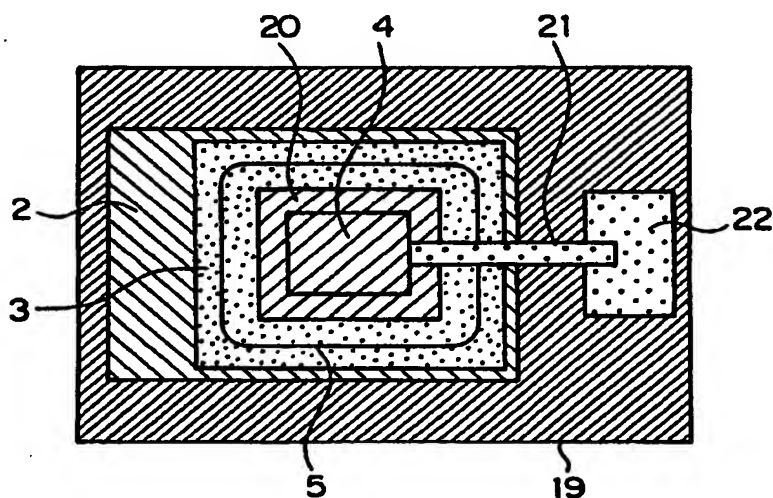
(51) 国際特許分類6 H03H 9/17		A1	(11) 国際公開番号 WO99/37023
			(43) 国際公開日 1999年7月22日(22.07.99)
(21) 国際出願番号 PCT/JP98/03471		(74) 代理人 弁理士 曾我道照, 外(SOGA, Michiteru et al.) 〒100-0005 東京都千代田区丸の内三丁目1番1号 国際ビルディング8階 曾我特許事務所 Tokyo, (JP)	
(22) 国際出願日 1998年8月4日(04.08.98)			
(30) 優先権データ 特願平10/6844 1998年1月16日(16.01.98) JP 特願平10/6845 1998年1月16日(16.01.98) JP		(81) 指定国 CA, CN, JP, KR, US, 欧州特許 (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).	
(71) 出願人 (米国を除くすべての指定国について) 三菱電機株式会社 (MITSUBISHI DENKI KABUSHIKI KAISHA)[JP/JP] 〒100-8310 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 Tokyo, (JP)		添付公開書類 国際調査報告書	
(72) 発明者 ; および (75) 発明者 / 出願人 (米国についてのみ) 三須幸一郎(MISU, Koichiro)[JP/JP] 永塚 勉(NAGATSUKA, Tsutomu)[JP/JP] 和高修三(WADAKA, Shusou)[JP/JP] 〒100-8310 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo, (JP)			

(54)Title: THIN FILM PIETOELECTRIC ELEMENT

(54)発明の名称 薄膜圧電素子

(57) Abstract

A thin film piezoelectric element comprising a substrate, a lower electrode formed on one side of the substrate, a piezoelectric thin film formed on the lower electrode, and a first upper electrode formed on the piezoelectric thin film, wherein the thin film piezoelectric element further comprises a second upper electrode formed on the outside of the first upper electrode formed on the piezoelectric thin film when viewed from the center of the first upper electrode and having a mass load larger than that of the first upper electrode and the piezoelectric thin film has high-pass cut-off dispersion characteristics. The cut-off frequency of the second upper electrode part piezoelectric having a high mass load can be set lower than the cut-off frequency of the first upper electrode part piezoelectric and the energy of elastic wave can be confined in a region on the first upper electrode part, whereby a good performance can be realized.



(57)要約

基板と、前記基板の一面に形成された下部電極と、前記下部電極上に形成された圧電薄膜と、前記圧電薄膜上に形成された第1の上部電極とを備えた薄膜圧電素子において、さらに、前記第1の上部電極の中心からみて前記圧電薄膜上の前記第1の上部電極の外側に形成され、前記第1の上部電極よりも質量負荷が大きい第2の上部電極を備え、前記圧電薄膜が高域遮断形の分散特性を有する。

質量負荷の大きい第2の上部電極部圧電体の遮断周波数を第1の上部電極部圧電体の遮断周波数よりも低くすることができ、第1の上部電極部側の領域で弾性波のエネルギーを閉じ込めることができ、良好な性能を実現できる。

PCTに基づいて公開される国際出願のパフレット第一頁に掲載されたPCT加盟国を同定するために使用されるコード(参考情報)

AE	アラブ首長国連邦	ES	スペイン	LI	リヒテンシュタイン	SG	シンガポール
AL	アルバニア	FI	フィンランド	LK	スリ・ランカ	SI	スロヴェニア
AM	アルメニア	FR	フランス	LR	リベリア	SK	スロヴァキア
AT	オーストリア	GA	ガボン	LS	レソト	SL	シエラ・レオネ
AU	オーストラリア	GB	英国	LT	リトアニア	SN	セネガル
AZ	アゼルバイジャン	GD	グレナダ	LU	ルクセンブルグ	SZ	スワジランド
BA	ボスニア・ヘルツェゴビナ	GE	グルジア	LV	ラトヴィア	TD	チャード
BB	バルバドス	GH	ガーナ	MC	モナコ	TG	トーゴ
BE	ベルギー	GM	ガンビア	MD	モルドヴァ	TJ	タジキスタン
BF	ブルキナ・ファソ	GN	ギニア	MG	マダガスカル	TM	トルクメニスタン
BG	ブルガリア	GW	ギニア・ビサウ	MK	マケドニア旧ユーゴスラヴィア共和国	TR	トルコ
BJ	ベナン	GR	ギリシャ	ML	マリ	TT	トリニダード・トバゴ
BR	ブラジル	HR	クロアチア	MN	モンゴル	UA	ウクライナ
BY	ベラルーシ	ID	インドネシア	MR	モーリタニア	UC	ウガンダ
CA	カナダ	IE	アイルランド	MW	マラウイ	US	米国
CF	中央アフリカ	IL	イスラエル	MX	メキシコ	UZ	ウズベキスタン
CG	コンゴ	IN	インド	NE	ニジェール	VN	ヴェトナム
CH	スイス	IS	アイスランド	NL	オランダ	YU	ユーゴスラビア
CI	コートジボワール	IT	イタリア	NO	ノルウェー	ZA	南アフリカ共和国
CM	カメルーン	JP	日本	NZ	ニュージーランド	ZW	ジンバブエ
CN	中国	KE	ケニア	PL	ポーランド		
CU	キューバ	KG	キルギスタン	PT	ポルトガル		
CY	キプロス	KP	北朝鮮	RO	ルーマニア		
CZ	チェコ	KR	韓国	RU	ロシア		
DE	ドイツ	KZ	カザフスタン	SD	スーダン		
DK	デンマーク	LC	セントルシア	SE	スウェーデン		
EE	エストニア						

明 細 書

薄膜圧電素子

技術分野

この発明は、弾性波を利用した共振器、フィルタ等の薄膜圧電素子に関するものである。

背景技術

薄膜圧電素子は、圧電体材料が電気信号と弾性波との変換作用を行うことを利用して、共振器やフィルタとして動作するものである。

従来の薄膜圧電素子について図面を参照しながら説明する。図34及び図35は、例えば、” Fundamental mode VHF/UHF bulk acoustic wave resonators and filters on silicon”, 1980, IEEE, Ultrasonics symposium, PP. 829-833 (以下、文献1と記す) に示された従来の薄膜圧電素子の構成を示す図である。図34は上面図、図35は図34の断面図である。

また、図36及び図37は、例えば、米国特許公報第4320365号 (以下、文献2と記す) に示された従来の他の薄膜圧電素子の構成を示す図である。図36は上面図、図37は図36の断面図である。

図34～図37において、1はシリコン基板、2は下部電極、3は圧電薄膜、4は上部電極、5はバイアホール、6は音響的共振部である。

薄膜圧電素子の特性は、音響的共振部6に大きく依存する。図38は、図35に示した音響的共振部6を拡大して示したものである。ここでは、簡単のため、下部電極2は、上部電極4と同じ大きさにして示しているが、実際の薄膜圧電素子では、図35に示すように、下部電極2と上部電極4の大きさは異なる。

図38において、上部電極4に覆われた圧電薄膜3の領域を電極部圧電体7aとし、上部電極4の外側の圧電薄膜3の領域を無電極部圧電体7bとする。電極部圧電体7aにおける弾性波の波数を「 k_m 」とし、無電極部圧電体7bにおける弾性波の波数を「 k_r 」とする。

上部電極4と下部電極2との間に、電気信号が印加されると、上部電極4と下部電極2との間に電界が生じる。圧電薄膜3は、電界を与えると伸縮する性質があるので、印加された電気信号に対応した弾性振動が励起される。このとき、印加された電界の方向に対して、どのような振動成分の弾性振動が励起されるかは、使用する圧電薄膜3の材質や結晶方位によって決まる。従来の薄膜圧電素子では、圧電薄膜3に、酸化亜鉛（ZnO）や窒化アルミニウム（AlN）を用いている。

上部電極4と下部電極2との間に印加された電界によって、電極部圧電体7aは弾性振動を励起し、厚み方向に伝搬する弾性波と、表面に平行な方向に伝搬する弾性波とが励振される。このとき、上部電極4の上側の面、および、下部電極2の下側の面は、大気と接するので、上記厚み方向に伝搬する弾性波は、これらの大気と接する面でほぼ完全反射される。一方、表面に平行な方向に伝搬する弾性波は、電極部圧電体7aと無電極部圧電体7bとで、伝搬特性が異なる性質を示す。

図39は、例えば、「弾性波素子技術ハンドブック」、日本学術振興会弾性波素子技術第150委員会編、PP. 82-87、1991（以下、文献3と記す）に示されている弾性波の伝搬特性を示す図である。同図において、横軸は圧電薄膜3の表面に平行な方向に伝搬する弾性波の波数であり、縦軸の右側は波数が実数となる領域、縦軸の左側は波数が虚数となる領域である。縦軸は周波数である。実線で示す8は、電極部圧電体7a中を伝搬する弾性波の分散特性を示し、破線で示す9は、無電極部圧電体7b中を伝搬する弾性波の分散特性を示す。

図 3 9 において、波数が実数であることは、上記圧電薄膜 3 表面に平行な方向に伝搬可能な伝搬域であることを示し、波数が虚数であることは、上記圧電薄膜 3 表面に平行な方向に伝搬不能な遮断域であることを示す。縦軸と交差する周波数は、上記圧電薄膜 3 の厚み方向に共振した場合の周波数、すなわち、厚み共振周波数を示しており、この厚み共振周波数を境界にして、伝搬域と遮断域に分かれるため、上記厚み共振周波数を遮断周波数と言う。ここでは、電極部圧電体 7 a 中を伝搬する弾性波の遮断周波数を「 f_{om} 」とし、無電極部圧電体 7 b 中を伝搬する弾性波の遮断周波数を「 f_{of} 」とする。一般に、電極部圧電体 7 a は、上部電極 4 と下部電極 2 の厚み分だけ、無電極部圧電体 7 b の厚みより、厚み共振する距離が長くなり、かつ、上部電極 4 と下部電極 2 の質量負荷による影響を強く受けるため、電極部圧電体 7 a の遮断周波数「 f_{om} 」は、無電極部圧電体 7 b の遮断周波数「 f_{of} 」より低くなる。

図 3 9 に示した特性は、遮断周波数より高い周波数域では伝搬域となり、遮断周波数より低い周波数域では遮断域となる。このように、遮断周波数より低い周波数で遮断域となるような特性を、「低域遮断形分散特性」と言い、従来から広く使われている酸化亜鉛（ZnO）や窒化アルミニウム（AlN）は、このような低域遮断形分散特性を有している。

このような低域遮断形分散特性を有する圧電薄膜 3 を用いた場合、励振される弾性波の周波数が高く、電極部圧電体 7 a の波数「 k_m 」と無電極部圧電体 7 b の波数「 k_f 」とが共に実数の場合は、電極部圧電体 7 a で励振された弾性波は、上記圧電薄膜 3 表面に平行な方向に伝搬し、無電極部圧電体 7 b をそのまま伝搬する。

一方、周波数 f が、電極部圧電体 7 a の厚み共振周波数「 f_{om} 」と、無電極部圧電体 7 b の厚み共振周波数「 f_{of} 」との中間の場合は、電極部圧電体 7 a では伝搬域であるのに対して、無電極部圧電体 7 b では遮断域となる。このため、電

極部圧電体 7 a と無電極部圧電体 7 b の境界面で、表面に平行な方向に伝搬する弾性波は反射され、弾性波のエネルギーが電極部圧電体 7 a 中に閉じ込められる。この現象を「エネルギー閉じ込め」と言い、弾性波のエネルギーが電極部以外に逃げないため、共振の性能を表わす Q 値の高い共振器を実現できる利点がある。従来の酸化亜鉛 (ZnO) を用いた薄膜圧電素子は、エネルギー閉じ込めを利用して、Q 値の高い共振器を得ることができた。

しかし、「弾性波素子技術ハンドブック」、日本学術振興会弾性波素子技術第 150 委員会編、pp. 125-129、1991 (以下、文献 4 と記す) に示されているように、圧電セラミクスで広く使われているジルコン酸チタン酸鉛 (PZT) やチタン酸鉛 (PbTiO₃) 等の鉛系圧電材料の電気機械結合係数「 k_t 」が 0.4~0.8 であるのに対し、酸化亜鉛 (ZnO) は電気機械結合係数「 k_t 」が約 0.3 と小さい。電気機械結合係数が小さいと、共振器にした場合の容量比が大きくなり、例えば、上記共振器を使用して電圧可変発振器を構成した場合には、可変周波数範囲が狭くなる。また、フィルタを構成した場合には、電気機械結合係数が小さいと、同じ挿入損失で実現できる帯域幅が狭くなるという問題が生じる。すなわち、電気機械結合係数が小さい酸化亜鉛等の材料では、共振器やフィルタ等の素子を構成する場合に、素子性能に大きな制限があるという問題がある。

これに対して、例えば、代表的な鉛系圧電セラミクスのチタン酸鉛 (PbTiO₃) は、大きな電気機械結合係数「 k_t 」を有するが、図 40 に示すような高域遮断形の分散特性を示す。すなわち、遮断周波数よりも高い周波数域が遮断域となり、遮断周波数よりも低い周波数域が伝搬域となる。周波数 f が、電極部圧電体 7 a の遮断周波数「 f_{om} 」よりも高く、無電極部圧電体 7 b の遮断周波数「 f_{or} 」よりも低い場合、電極部圧電体 7 a では遮断域となり、無電極部圧電体 7 b では伝搬域となるため、エネルギーを電極部圧電体 7 a に閉じ込めることができず、励振された弾性波のエネルギーは無電極部圧電体 7 b の方に伝搬して逃げてしまう。これは大きな損失になる。

このような高域遮断形の圧電体を用いて、圧電素子を実現する方法として、例えば、文献3中には、図41に示す方法が述べられている。すなわち、電極部圧電体7aの厚み「 h_2 」を、無電極部圧電体7bの厚み「 h_1 」よりも薄くして、そこに上部電極4と下部電極2を構成している。なお、図41に示す従来の圧電素子の例は、薄膜圧電素子ではなく、焼結した圧電セラミックスの板材を用いた数十MHz帯以下の周波数で用いられる圧電素子である。

図42は、図41に示した従来の圧電素子の動作を説明するための分散特性を示す図である。圧電体3の厚さが同じでその厚さが全て「 h_1 」である場合、無電極部圧電体7bの遮断周波数は「 f_{of} 」であり、両面に電極を付けた場合の遮断周波数は「 f_{om1} 」となり、電極の質量負荷の影響等により、無電極部圧電体7bの遮断周波数「 f_{of} 」より低くなる。これに対して、圧電体3の厚さを無電極部圧電体7bより薄くすると、電極部圧電体7aの遮断周波数「 f_{om2} 」は高くなる。これは、厚み共振する共振長が圧電体の厚さ「 h_2 」に依存して変化するためである。ある適切な厚さ「 h_2 」を選択すれば、電極部圧電体7aの遮断周波数「 f_{om2} 」は、無電極部圧電体7bの遮断周波数「 f_{of} 」よりも高くすることができる。

この場合、電極部圧電体7aの分散特性8は、無電極部圧電体7bの分散特性9よりも同じ波数で高い周波数を示すようにできる。このため、無電極部圧電体7bの遮断周波数「 f_{of} 」よりも高く、電極部圧電体7aの遮断周波数「 f_{om2} 」よりも低い周波数では、電極部圧電体7aは伝搬域、無電極部圧電体7bは遮断域となるように動作する。すなわち、弾性波のエネルギーを電極部圧電体7aに閉じ込めることができ、損失の小さい圧電素子を実現できる。

図43及び図44は、例えば、「圧電反作用の制御による周波数上昇形エネルギー閉じ込め」、電子通信学会論文誌、'79/1、Vol. J62-A、No. 1、PP. 8-15、(以下、文献5と記す)に示された従来の他の圧電素子

の例を示す図である。図 4 3 は上面図、図 4 4 は断面図である。ここでは、上部電極 4、下部電極 2 が円形の場合を示している。

この場合も、薄膜圧電素子ではなく、焼結した圧電セラミックスの板材を用いた数十 MHz 帯以下の周波数で用いられる圧電素子である。電極部圧電体 7 a は分極処理され、無電極部圧電体 7 b は分極処理されていない。また、上部電極 4 と電気端子 1 2 a との間に直列にコンデンサ 1 1 が挿入されている。

図 4 5 は、図 4 3 及び図 4 4 に示した従来の圧電素子の動作を説明するための分散特性を示す図である。同図において、1 3 は分極された場合の無電極部圧電体の分散特性、1 4 は分極されない場合の無電極部圧電体の分散特性、1 5 は電気端子から見込んだ場合の分散特性である。

チタン酸鉛 (PbTiO_3) のような鉛系圧電セラミックスの多くは、圧電体 3 に対して、加熱しながら直流電圧を印加することにより、圧電体 3 内部の分極を揃えることができる。このため、分極処理する圧電体 3 の領域を限定することができ、図 4 3 及び図 4 4 に示した例では、電極部圧電体 7 a のみを分極処理し、無電極部圧電体 7 b は分極処理しない。文献 5 中で述べられているように、分極されていない無電極部圧電体 7 b の遮断周波数「 f_{of2} 」は、分極処理した場合の遮断周波数「 f_{of1} 」よりも周波数低化し、分散特性 1 3 となる。

また、上部電極 4 と電気端子 1 2 a との間に、適切な容量のコンデンサ 1 1 を挿入することにより、実効的に、電気端子 1 2 a から見込んだ電極部圧電体 7 a の厚み共振周波数「 f_{om2} 」を、電極部圧電体 7 a の遮断周波数「 f_{of1} 」より高くすることができ、分散特性 1 5 となる。このため、電気端子 1 2 a から見込んだ場合の動作は、電極部圧電体 7 a は分散特性 1 5、無電極部圧電体 7 b は分散特性 1 3 となるため、周波数 f が無電極部圧電体 7 b の遮断周波数「 f_{of2} 」より高く、電気端子 1 2 a から見込んだ電極部圧電体 7 a の厚み共振周波数「 f_{om2} 」より低い場合は、電極部圧電体 7 a では伝搬域、無電極部圧電体 7 b では遮断

域となり、エネルギー閉じ込めが実現できる。

図46及び図47は、例えば、文献5に示された従来の他の圧電素子の例を示す図である。図46は上面図、図47は断面図である。ここでは、上部電極4、下部電極2が円形の場合を示している。

この場合も、薄膜圧電素子ではなく、焼結した圧電セラミックスの板材を用いた数十MHz帯以下の周波数で用いられる圧電素子である。同図において、16は短絡電極であり、17は短絡電極部圧電体である。文献5に示された例では、短絡電極部圧電体17は分極処理されている。上部電極4の外側に短絡電極16がわずかな間隔を置いて構成され、短絡電極16は下部電極2と電氣的に短絡されている。また、上部電極4と電気端子12aとの間に直列にコンデンサ11が挿入されている。

図48は、図46及び図47に示した従来の他の圧電素子の動作を説明するための分散特性を示す図である。同図において、18は短絡電極部圧電体17の分散特性である。

文献5中で述べられているように、表面を短絡電極16と下部電極2で覆われた短絡電極部圧電体17の遮断周波数「 f_{or2} 」は、表面が自由表面である無電極部圧電体7bの遮断周波数「 f_{or1} 」よりも周波数低化し、分散特性18となる。

また、上部電極4と電気端子12aとの間に、適切な容量のコンデンサ11を挿入することにより、実効的に、電気端子12aから見込んだ電極部圧電体7aの厚み共振周波数「 f_{om2} 」を、電極部圧電体7aの遮断周波数「 f_{om1} 」より高くすることができ、分散特性15となる。このため、電気端子12aから見込んだ場合の動作は、電極部圧電体7aは分散特性15、短絡電極部圧電体17は分散特性18となるため、周波数 f が短絡電極部圧電体17の遮断周波数「 f_{or2} 」より高く、電気端子12aから見込んだ電極部圧電体7aの厚み共振周波数「 f

より低い場合は、電極部圧電体 7 a では伝搬域、短絡電極部圧電体 1 7 では遮断域となり、エネルギー閉じ込めが実現できる。

上述したような従来の薄膜圧電素子では、圧電薄膜に酸化亜鉛 (ZnO) や窒化アルミニウム (AlN) を用いていた。これらの圧電薄膜は、遮断周波数より高い周波数域では伝搬域となり、上記遮断周波数より低い周波数域では遮断域となる低域遮断形分散特性を示し、電極部圧電体 7 a に弾性波のエネルギーを閉じ込めるエネルギー閉じ込めが実現でき、Q 値が高い共振器や損失の低いフィルタ等を実現できた。しかし、酸化亜鉛 (ZnO) や窒化アルミニウム (AlN) は、電気機械結合係数が小さく、共振器やフィルタを実現する場合に素子性能に大きな制限を受けるという問題点があった。

また、薄膜圧電素子ではないが、電気機械結合係数の大きい鉛系圧電セラミクスを用いて圧電素子を実現した場合は、使用する圧電体によって、遮断周波数より高い周波数域が遮断域となる高域遮断形分散特性を示すものがあり、このような場合、電極部圧電体 7 a に弾性波のエネルギーを閉じ込めることができないため、十分な性能の圧電素子を実現できない欠点があった。

このような欠点を解決するために、従来、電極部圧電体 7 a の厚みをその外側の無電極部圧電体 7 b より薄くする方法が知られているが、この方法を圧電薄膜 3 に適用するには、液体あるいはプラズマによるエッチングを行う必要がある。しかし、圧電薄膜は、厳密には、単結晶である微細な粒子が集まって構成された多結晶構造であり、上記エッチング処理を行うと、この多結晶粒子の粒界面が現われる性質を有する。薄膜圧電素子は、数百 MHz から数 GHz 以上の周波数で動作させることを目的としているので、圧電薄膜における弾性波の波長は、ミクロンあるいはサブミクロン単位の極めて小さいものとなる。上記圧電薄膜に要求される表面の平滑度は、波長の数分の 1 から数十分の 1 以下であるから、上記薄膜圧電素子に必要な表面平滑度は極めて小さい。上記多結晶粒子の粒界の寸法は、数十ミクロンから数百ミクロンになる場合が多く、必要とされる表面平滑度

より荒い。すなわち、薄膜圧電素子では、圧電薄膜の厚みを部分的に薄くすることが、製造上困難である。

また、図35、図37から明らかなように、薄膜圧電素子における圧電薄膜3は、バイアホール5によって浮いた構造となった電極部周辺を機械的に支える重要な構造材でもある。一方で、「ECR-MBE法による20面サファイア基板上へのZnO薄膜のエピタキシャル成長」、日本学術振興会弾性波素子技術第150委員会第52回研究会資料、PP. 1-6、1997（以下、文献6と記す）、あるいは、「圧電体の面積を縮小したGHz帯薄膜バルク超音波フィルタ」、1997年電子情報通信学会基礎・境界ソサイエティ大会、A-11-6、pp. 163、1997（以下、文献7と記す）に示されているように、圧電薄膜3内部には必ず内部応力が存在し、多くの場合、圧縮応力であるため、上記圧電薄膜を反らせるような応力が存在する。このため、上記圧電薄膜3を部分的に薄くするような構造にすると、厚みが薄くなる端面に応力が集中し、この端面で大きな変形が生じ、薄膜圧電素子の性能を著しく劣化させたり、薄膜圧電素子の破壊を招いたりする問題がある。

電極部圧電体7aのみを分極処理し、無電極部圧電体7bを未分極とし、かつ、上部電極4に直列にコンデンサ11を挿入することにより、実効的に、電気端子12aから見込んだ電極部圧電体7aの厚み共振周波数「 f_{om2} 」を、無電極部圧電体7bの遮断周波数「 f_{or2} 」よりも高くする方法が従来知られているが、これは、未分極の無電極部圧電体7bの遮断周波数「 f_{or1} 」が、分極処理した場合の無電極部圧電体7bの遮断周波数「 f_{or1} 」よりも必要な程度に低くなり、かつ、コンデンサ11を挿入することにより、電気端子12aより見込んだ電極部圧電体7aの厚み共振周波数「 f_{om2} 」が、上記未分極の無電極部圧電体7bの遮断周波数「 f_{or2} 」よりも高くなる必要がある。しかし、これを実現できる条件は限られており、例えば、上部電極4に質量負荷効果の大きい金（Au）や白金（Pt）を用いた場合には、電極部圧電体7aの遮断周波数「 f_{om1} 」が、無電極部圧電体7bの遮断周波数「 f_{or2} 」よりもかなり低くなるため、コンデンサ1

1を挿入しても、電気端子12aより見込んだ電極部圧電体7aの厚み共振周波数「 f_{om2} 」を、無電極部圧電体7bの遮断周波数「 f_{or2} 」より低くすることが困難である。

従来から低周波数で広く用いられているセラミクスを焼結して製造された圧電セラミクスでは、未分極の場合、各結晶粒子内の分極の方向が乱雑な方向であるため、圧電セラミクス全体として各結晶粒子内の分極が打ち消され、圧電性を示さない。一方、圧電薄膜3の場合は、各結晶粒子内の分極が乱雑であっても、全体的にある方向に分極を有する場合が多く、未分極でも弱い圧電性を示す。このため、セラミクスを焼結して製造された圧電セラミクスに比べて、未分極の場合と分極処理した場合の圧電薄膜の特性差が小さいため、未分極の無電極部圧電体7bの遮断周波数「 f_{or2} 」と、分極処理した場合の無電極部圧電体7bの遮断周波数「 f_{or1} 」との周波数差が小さく、電気端子12aより見込んだ電極部圧電体7aの厚み共振周波数「 f_{om2} 」を、無電極部圧電体7bの遮断周波数「 f_{or2} 」より低くすることが困難である。

短絡電極16を上部電極4の外側に形成する方法では、短絡電極16と下部電極2とを電氣的に短絡する必要がある。しかし、薄膜圧電素子のように、半導体プロセスを主体として製造する素子では、上記圧電薄膜3にスルーホールを開けて短絡電極16と下部電極2とを接続する方法は、実現可能なスルーホール径が大きく、現実的な接続手段として用いることができない。また、圧電薄膜3の外側の端面で接続する方法は、圧電薄膜3の外側の端面から短絡電極16の上部電極4側の端面まで距離があり、上部電極4側の短絡電極16の端面における電位が、短絡電極16の抵抗成分やリアクタンス成分により、接地電位とならないため、短絡電極部圧電体17の分散特性が、短絡電極16を接地電位とした場合の分散特性からずれる問題がある。特に、高周波数で用いる薄膜圧電素子では、この影響が大きく、設計した特性を実現できないという問題点があった。

この発明は、前述した問題点を解決するためになされたもので、電気機械結合

係数の大きな圧電薄膜を用いて、良好な性能を実現することができる薄膜圧電素子を得ることを目的とする。

発明の開示

まず、この発明に係る薄膜圧電素子は、上部電極の上側等に厚みを大きくした第2の上部電極を設けたもので、以下の通りである。

この発明に係る薄膜圧電素子は、基板と、前記基板の一面に形成された下部電極と、前記下部電極上に形成された圧電薄膜と、前記圧電薄膜上に形成された第1の上部電極とを備えた薄膜圧電素子において、さらに、前記第1の上部電極の中心からみて前記圧電薄膜上の前記第1の上部電極の外側に形成され、前記第1の上部電極よりも質量負荷が大きい第2の上部電極を備え、前記圧電薄膜が高域遮断形の分散特性を有するものである。

また、この発明に係る薄膜圧電素子は、前記第1及び第2の上部電極が一体的に形成され、前記第2の上部電極の厚みが、前記第1の上部電極よりも大きいものである。

また、この発明に係る薄膜圧電素子は、前記第2の上部電極の電極厚と密度の積が、前記第1の上部電極の電極厚と密度の積よりも大きいものである。

また、この発明に係る薄膜圧電素子は、前記第1の上部電極の上の一部に、前記第2の上部電極を重ねたものである。

また、この発明に係る薄膜圧電素子は、前記第1の上部電極と前記第2の上部電極とを接続したものである。

また、この発明に係る薄膜圧電素子は、前記第1の上部電極の上に、前記第1の上部電極よりも幅が狭い前記第2の上部電極を重ねたものである。

さらに、この発明に係る薄膜圧電素子は、前記第 1 及び第 2 の上部電極が、2 つに分かれているものである。

また、この発明に係る薄膜圧電素子は、さらに、前記 2 つに分かれた第 1 の上部電極の間の前記圧電薄膜上に形成された第 3 の上部電極を備えたものである。

さらに、この発明に係る薄膜圧電素子は、前記基板を、半導体基板あるいは誘電体基板としたものである。

さらに、この発明に係る薄膜圧電素子は、前記圧電薄膜のポアソン比を、0.34 より小さいとしたものである。

さらに、この発明に係る薄膜圧電素子は、前記圧電薄膜が、チタン酸鉛 (PbTiO_3) を主成分とするものである。

さらに、この発明に係る薄膜圧電素子は、前記基板と前記下部電極の間に誘電体層を挿入するものである。

次に、この発明に係る薄膜圧電素子は、上部電極の上側等に誘電体を設けたもので、以下の通りである。

この発明に係る薄膜圧電素子は、基板と、前記基板の一面に形成された下部電極と、前記下部電極上に形成された圧電薄膜と、前記圧電薄膜上に形成された上部電極とを備えた薄膜圧電素子において、さらに、前記上部電極の中心からみて前記圧電薄膜上の前記上部電極の外側に形成された誘電体を備え、前記圧電薄膜が、高域遮断形の分散特性を有するものである。

また、この発明に係る薄膜圧電素子は、前記誘電体が、前記上部電極上の一部

に形成されたものである。

また、この発明に係る薄膜圧電素子は、前記誘電体の膜厚と密度の積を、前記上部電極の電極厚と密度の積よりも大きくしたものである。

また、この発明に係る薄膜圧電素子は、前記上部電極の上の一部に、前記誘電体を重ねたものである。

また、この発明に係る薄膜圧電素子は、前記上部電極と前記誘電体とを接続したものである。

また、この発明に係る薄膜圧電素子は、前記上部電極の上に、前記上部電極よりも幅が狭い前記誘電体を重ねたものである。

さらに、この発明に係る薄膜圧電素子は、前記上部電極と前記誘電体が、2つに分かれているものである。

また、この発明に係る薄膜圧電素子は、さらに、前記2つに分かれた第1の上部電極の間の前記圧電薄膜上に形成された第2の上部電極を備えたものである。

さらに、この発明に係る薄膜圧電素子は、前記基板を、半導体基板あるいは誘電体基板としたものである。

さらに、この発明に係る薄膜圧電素子は、前記圧電薄膜のポアソン比が0.34より小さいものである。

さらに、この発明に係る薄膜圧電素子は、前記圧電薄膜を、チタン酸鉛(PbTiO₃)を主成分とするものである。

さらに、この発明に係る薄膜圧電素子は、前記基板と前記下部電極の間に誘電体層を挿入するものである。

図面の簡単な説明

- 図 1 はこの発明の実施の形態 1 に係る薄膜圧電素子の上面を示す図、
図 2 はこの発明の実施の形態 1 に係る薄膜圧電素子の断面を示す図、
図 3 は図 2 に示した音響的共振部を拡大した図、
図 4 は図 3 に示した薄膜圧電素子の分散特性を示す図、
図 5 はこの発明の実施の形態 2 に係る薄膜圧電素子の上面を示す図、
図 6 はこの発明の実施の形態 2 に係る薄膜圧電素子の断面を示す図、
図 7 は図 6 に示した音響的共振部を拡大した図、
図 8 はこの発明の実施の形態 3 に係る薄膜圧電素子を示す図、
図 9 はこの発明の実施の形態 4 に係る薄膜圧電素子の上面を示す図、
図 10 はこの発明の実施の形態 4 に係る薄膜圧電素子の断面を示す図、
図 11 は図 10 に示した音響的共振部を拡大した図、
図 12 は図 11 に示した薄膜圧電素子の分散特性を示す図、
図 13 はこの発明の実施の形態 5 に係る薄膜圧電素子を示す図、
図 14 は図 13 に示した薄膜圧電素子の分散特性を示す図、
図 15 はこの発明の実施の形態 6 に係る薄膜圧電素子を示す図、
図 16 はこの発明の実施の形態 7 に係る薄膜圧電素子を示す図、
図 17 はこの発明の実施の形態 8 に係る薄膜圧電素子を示す図、
図 18 はこの発明の実施の形態 9 に係る薄膜圧電素子の上面を示す図、
図 19 はこの発明の実施の形態 9 に係る薄膜圧電素子の断面を示す図、
図 20 は図 19 に示した音響的共振部を拡大した図、
図 21 は図 20 に示した薄膜圧電素子の分散特性を示す図、
図 22 はこの発明の実施の形態 10 に係る薄膜圧電素子の上面を示す図、
図 23 はこの発明の実施の形態 10 に係る薄膜圧電素子の断面を示す図、
図 24 は図 23 に示した音響的共振部を拡大した図、
図 25 はこの発明の実施例 11 に係る薄膜圧電素子を示す図、

図 2 6 はこの発明の実施例 1 2 に係る薄膜圧電素子の上面を示す図、
図 2 7 はこの発明の実施例 1 2 に係る薄膜圧電素子の断面を示す図、
図 2 8 は図 2 7 に示した音響的共振部を拡大した図、
図 2 9 は図 2 8 に示した薄膜圧電素子の分散特性を示す図、
図 3 0 はこの発明の実施例 1 3 に係る薄膜圧電素子を示す図、
図 3 1 は図 3 0 に示した薄膜圧電素子の分散特性を示す図、
図 3 2 はこの発明の実施例 1 4 に係る薄膜圧電素子を示す図、
図 3 3 はこの発明の実施例 1 5 に係る薄膜圧電素子を示す図、
図 3 4 は従来の薄膜圧電素子の上面を示す図、
図 3 5 は図 3 4 に示した薄膜圧電素子の断面を示す図、
図 3 6 は従来の他の薄膜圧電素子の上面を示す図、
図 3 7 は図 3 6 に示した薄膜圧電素子の断面を示す図、
図 3 8 は図 3 4 に示した薄膜圧電素子の音響的共振部の拡大図、
図 3 9 は弾性波の伝搬特性の例を示す図、
図 4 0 は高域遮断形分散特性の例を示す図、
図 4 1 は従来の圧電素子の断面を示す図、
図 4 2 は図 4 1 に示した圧電素子の分散特性を示す図、
図 4 3 は従来の他の圧電素子の上面を示す図、
図 4 4 は図 4 3 に示した圧電素子の断面を示す図、
図 4 5 は図 4 3 及び図 4 4 に示した圧電素子の分散特性を示す図、
図 4 6 は従来の他の圧電素子の上面を示す図、
図 4 7 は図 4 5 に示した圧電素子の断面を示す図、
図 4 8 は図 4 6 及び図 4 7 に示した圧電素子の分散特性を示す図である。

発明を実施するための最良の形態

以下、この発明の各実施例について図面に基づき説明する。

まず、上部電極の上側等に厚みを大きくした第 2 の上部電極を設けた薄膜圧電素子について、以下の実施例 1 ～ 8 として説明する。

実施例 1.

この発明の実施例 1 に係る薄膜圧電素子について図 1 から図 4 までを参照しながら説明する。図 1 は、この発明の実施例 1 に係る薄膜圧電素子の上面を示す図である。また、図 2 は、この発明の実施例 1 に係る薄膜圧電素子の断面を示す図である。なお、各図中、同一符号は同一又は相当部分を示す。

図 1 及び図 2 において、19 は半導体基板あるいは誘電体基板、2 は下部電極、3 は圧電薄膜、4 は上部電極、5 はバイアホール、6 は音響的共振部、20 は上部電極 4 の厚みを大きくした上部電極、21 はエアブリッジ、22 はパッドである。

半導体基板あるいは誘電体基板 19 は、薄膜圧電素子の音響的な特性には直接関係しないため、従来から用いられているシリコン (Si) 半導体基板、ガリウムヒ素 (GaAs) 半導体基板のような半導体基板でも、ガラス、サファイア、酸化マグネシウム (MgO) のような半導体特性のない絶縁性の誘電体基板のいずれでもよい。特に、シリコン (Si) 基板、ガリウムヒ素 (GaAs) 基板、酸化マグネシウム (MgO) 基板は、耐高温特性がよく、優れた基板材料である。以下、半導体基板あるいは誘電体基板 19 を総称して半導体基板 19 と記す。

この半導体基板 19 の上に、下部電極 2 を形成する。半導体基板 19 と下部電極 2 との間に、酸化シリコン (SiO、SiO₂) や窒化シリコン (SiN) 等の誘電体層を挿入する場合もある。これは、以下に示す全ての実施例についても同様である。下部電極 2 の上に、圧電薄膜 3 を形成し、さらに圧電薄膜 3 の上に上部電極 4 を形成する。

エアブリッジ 21 は、上部電極 4 とパッド 22 とを電氣的に接続するために用いるが、圧電薄膜 3 表面に密着した線路を用いてパッド 22 と接続する場合もある。

る。

半導体基板 19 の裏面からバイアホール 5 を形成し、下部電極 2 の下側の面が空気に接する構造とする。前記誘電体層を挿入する場合は、前記誘電体層も取り除いて下部電極 2 の下側の面が空気に接するようにする場合と、前記誘電体層の下側の面が空気に接するようにする場合とがある。これらの構造は、従来の薄膜圧電素子と同じである。

しかし、この実施例 1 に係る薄膜圧電素子は、圧電薄膜 3 に高域遮断形の分散特性を有する材料を用い、かつ、上部電極 4 の外側に、厚くした上部電極 20 の領域を形成している。

図 3 は、図 2 に示した音響的共振部 6 を拡大した図である。同図において、23a は薄い方の上部電極 4 部の圧電体、23b は厚い上部電極 20 部の圧電体、23c は無電極部圧電体、26 は閉じ込め共振の反射面である。

図 4 は、図 3 に示した薄膜圧電素子の分散特性を示す図である。同図において、24 は薄い上部電極部圧電体 23a の分散特性、25 は厚い上部電極部圧電体 23b の分散特性である。

図 3 に示した薄膜圧電素子の下部電極 2 と、図 2 に示した薄膜圧電素子の下部電極 2 とは、構造が異なるが、図 3 に示した下部電極 2 の方が簡略化して示しており、実際の薄膜圧電素子は、図 2 に示す構造をしている。

圧電薄膜 3 には、高域遮断形の分散特性を示す材料を用いる。例えば、チタン酸鉛 (PbTiO_3) の基本厚み縦振動、ジルコン酸チタン酸鉛 (PZT) の 3 次厚みすべり振動、タンタル酸リチウム (LiTaO_3) Z 板の基本厚み縦振動等の他に、ポアソン比 σ が $1/3$ 以下となる圧電体の基本厚み縦振動等が、高域遮断形の分散特性を示す。これらの圧電体は、極めて大きな電気機械結合係数を

示し、酸化亜鉛（ZnO）や窒化アルミニウム（AlN）を用いた従来の薄膜圧電素子に比べて、より良好な素子性能を実現できる。なお、ポアソン比 σ は、圧電体材料の特性を表わす材料定数の一種であり、例えば、「弾性波素子技術ハンドブック」、日本学術振興会弾性波素子技術第150委員会編、pp. 10-21、1991（以下、文献8と記す）に詳しく説明されている。

薄い上部電極部圧電体23aの遮断周波数「 $f_{0.1}$ 」は、上部電極4と下部電極2の厚みと質量負荷効果のために、無電極部圧電体23cの遮断周波数「 f_{0r} 」より低くなる。

また、上部電極4の外側の領域の電極厚を厚くし、厚い上部電極20を形成すると、厚い上部電極部圧電体23bの遮断周波数「 $f_{0.2}$ 」は、厚い上部電極20の厚みと質量負荷効果のために、薄い上部電極部圧電体23aの遮断周波数「 $f_{0.1}$ 」よりもさらに低くなる。

このため、薄い上部電極部圧電体23aの遮断周波数「 $f_{0.1}$ 」と、厚い上部電極部圧電体23bの遮断周波数「 $f_{0.2}$ 」との間の周波数域では、薄い上部電極部圧電体23a中では伝搬域となり、厚い上部電極部圧電体23b中では遮断域となるので、薄い上部電極部圧電体23aと厚い上部電極部圧電体23bとの境界面が反射面26となって、弾性波のエネルギーを閉じ込め、閉じ込め共振が実現できる。

従って、このような構造をとることにより、電気機械結合係数の大きいチタン酸鉛（PbTiO₃）、ジルコン酸チタン酸鉛（PZT）、タンタル酸リチウム（LiTaO₃）等の圧電体を用いて、エネルギー閉じ込めを実現できるため、素子性能がより良好な薄膜圧電素子を実現できる。

実施例2.

この発明の実施例 2 に係る薄膜圧電素子について図 5 ～図 7 を参照しながら説明する。図 5 は、この発明の実施例 2 に係る薄膜圧電素子の上面を示す図である。また、図 6 は、この発明の実施例 2 に係る薄膜圧電素子の断面を示す図である。さらに、図 7 は、図 6 に示した音響的共振部を拡大して示した図である。なお、この実施例 2 に係る薄膜圧電素子は、2 電極構成のフィルタの例である。

図 7 の薄膜圧電素子の分散特性は、図 4 に示した分散特性と同じである。圧電薄膜 3 は高域遮断形の分散特性を示し、厚い上部電極部圧電体 2 3 b の遮断周波数「 f_{0a2} 」は、薄い上部電極部圧電体 2 3 a の遮断周波数「 f_{0a1} 」よりも低くなる。

このため、薄い上部電極部圧電体 2 3 a の遮断周波数「 f_{0a1} 」と、厚い上部電極部圧電体 2 3 b の遮断周波数「 f_{0a2} 」との間の周波数域では、薄い上部電極部圧電体 2 3 a 中では伝搬域となり、厚い上部電極部圧電体 2 3 b 中では遮断域となるので、薄い上部電極部圧電体 2 3 a と厚い上部電極部圧電体 2 3 b との境界面が反射面 2 6 となって、弾性波のエネルギーを閉じ込め、閉じ込め共振が実現できる。

閉じ込め共振では、圧電薄膜 3 の表面に平行な方向に共振を起こし、フィルタの場合は、上部電極 4 が 2 つに分かれているので、2 つの上部電極 4 が同じ電位になる対称モードの共振と、逆極性となる非対称モードの共振が生じる。そして、対称モード共振を起こす共振周波数と、非対称モード共振を起こす共振周波数とが接近する場合に、2 つの上部電極 4 間で結合が生じ、フィルタ特性を示すようになる。

2 つの共振モードの共振周波数は、使用する圧電薄膜 3 の種類と、上部電極 4 の間隔と、薄い上部電極 4 の物理寸法と、厚い上部電極 2 0 の物理寸法と、電極材料によって決まる。エネルギー閉じ込めを用いたフィルタ動作については、文献 3 中に詳しく述べられている。

フィルタの場合、閉じ込め共振が起きないと、挿入損失が増大したり、帯域外に多くのスプリアスが発生したりするが、図7に示すような薄膜圧電素子を用いることにより、閉じ込め共振を実現し、電気機械結合係数の大きい圧電薄膜を用いることができることと合わせて、より低損失で良好な特性の薄膜圧電素子を実現できる。

実施例3.

この発明の実施例3に係る薄膜圧電素子について図8を参照しながら説明する。図8は、この発明の実施例3に係る薄膜圧電素子の音響的共振部を拡大して示した図である。なお、この実施例3に係る薄膜圧電素子の他の構成は、実施例2と同様である。

図7に示す実施例2の場合と異なり、上部電極4の外側部分は、薄い上部電極4と同じ電極厚としている。閉じ込め共振は、反射面26より内側で生じるため、反射面26の外側に、薄い上部電極4が存在しても、原理的には、閉じ込め共振と関係なく、図8に示す薄膜圧電素子は、図7に示した薄膜圧電素子と同様の動作をする。

図3、図7及び図8に示したような上部電極4の一部の電極厚を厚くするには、予め、厚い上部電極20の電極厚で上部電極を形成し、その後に、エッチング等の手段により、薄い上部電極4を形成する方法と、まず、薄い上部電極4を形成し、次に、リフトオフ等の方法で厚い上部電極部にさらに電極を重ね電極厚を厚く方法がある。この実施例3に係る薄膜圧電素子は、これらのいずれの製造法の場合でも適用できる。

実施例4.

この発明の実施例 4 に係る薄膜圧電素子について図 9 ～図 12 を参照しながら説明する。図 9 は、この発明の実施例 4 に係る薄膜圧電素子の上面を示す図である。また、図 10 は、この発明の実施例 4 に係る薄膜圧電素子の断面を示す図である。

図 9 及び図 10 において、4 は第 1 の上部電極、27 は第 2 の上部電極である。

図 11 は、図 10 に示した音響的共振部を拡大して示した図である。同図において、28a は第 1 の上部電極 4 部の圧電体、28b は第 2 の上部電極 27 部の圧電体、28c は無電極部圧電体である。

図 12 は、図 11 に示した薄膜圧電素子の分散特性を示す図である。同図において、29 は第 1 の上部電極部圧電体 28a の分散特性、30 は第 2 の上部電極部圧電体 28b の分散特性である。

第 1 の上部電極 4 の電極厚を「 d_1 」、密度を「 ρ_1 」とし、第 2 の上部電極 27 の電極厚を「 d_2 」、密度を「 ρ_2 」とする。第 1 の上部電極 4 の電極厚「 d_1 」と密度「 ρ_1 」の積（ $d_1 \rho_1$ ）よりも、第 2 の上部電極 27 の電極厚「 d_2 」と密度「 ρ_2 」の積（ $d_2 \rho_2$ ）の方が大きい場合、第 1 の上部電極部圧電体 28a の遮断周波数「 f_{0a1} 」よりも第 2 の上部電極部圧電体 28b の遮断周波数「 f_{0a2} 」の方が低くなる。

このため、第 1 の上部電極部圧電体 28a の遮断周波数「 f_{0a1} 」と第 2 の上部電極部圧電体 28b の遮断周波数「 f_{0a2} 」との間の周波数域でエネルギー閉じ込めを実現することができ、良好な性能の薄膜圧電素子を実現できる。

第 2 の上部電極 27 が第 1 の上部電極 4 と同じ材料である場合は、第 2 の上部電極 27 の電極厚「 d_2 」を第 1 の上部電極 4 の電極厚「 d_1 」より厚くする必要

がある。

一方、異なる材料を用いれば、例えば、第 1 の上部電極 4 よりも第 2 の上部電極 27 の方が密度が大きい場合には、第 2 の上部電極 27 の電極厚「 d_2 」は、第 1 の上部電極 4 の電極厚「 d_1 」と同等か、あるいは、薄くできる場合もある。

実施例 5.

この発明の実施例 5 に係る薄膜圧電素子について図 13 及び図 14 を参照しながら説明する。図 13 は、この発明の実施例 5 に係る薄膜圧電素子の音響的共振部を拡大した部分を示す図である。また、図 14 は、図 13 に示した薄膜圧電素子の分散特性を示す図である。なお、この実施例 5 に係る薄膜圧電素子の他の構成は実施例 4 と同様である。

図 13 において、31 は第 1 の上部電極 4 と第 2 の上部電極 27 が重なった領域の圧電体である。

図 14 において、32 は第 1 及び第 2 の上部電極が重なった領域の圧電体 31 の分散特性である。

図 13 に示した薄膜圧電素子では、閉じ込め共振の反射面 26 は、第 1 の上部電極 4 の上に重なった第 2 の上部電極 27 の端面の下側となる。この第 1 及び第 2 の上部電極が重なった領域の圧電体 31 の遮断周波数「 f_{0a2} 」は、第 1 の上部電極 4 の電極厚「 d_1 」と質量負荷効果、第 2 の上部電極 27 の電極厚「 d_2 」と質量負荷効果の両方により、第 1 の上部電極部圧電体 28a の遮断周波数「 f_{0a1} 」より低い周波数になる。

このため、第 1 の上部電極部圧電体 28a の遮断周波数「 f_{0a1} 」と第 1 及び第

2の上部電極が重なった領域の圧電体31の遮断周波数「 f_{0s2} 」との間の周波数域でエネルギー閉じ込めが生じる。すなわち、エネルギー閉じ込めによるフィルタ動作が実現できる。

図13に示した薄膜圧電素子では、第2の上部電極27の電極厚「 d_2 」や密度「 ρ_2 」は、フィルタ動作上必要な程度に第1及び第2の上部電極が重なる領域の圧電体31の遮断周波数「 f_{0s2} 」を低くできればよく、第1の上部電極4の電極厚「 d_1 」と密度「 ρ_1 」に対する制限は、図11に示した場合より緩い。これは、第1の上部電極4の上に、第2の上部電極27を重ねた構造によるものである。

実施例6.

この発明の実施例6に係る薄膜圧電素子について図15を参照しながら説明する。図15は、この発明の実施例6に係る薄膜圧電素子の音響的共振部を拡大した部分を示す図である。なお、この実施例6に係る薄膜圧電素子の他の構成は実施例4と同様である。

図15に示した薄膜圧電素子は、図11に示した薄膜圧電素子における第1の上部電極4と第2の上部電極27とを接続させたものに相当する。したがって、エネルギー閉じ込めの動作原理は、図11に示した薄膜圧電体の場合と同じである。

このため、第2の上部電極27による質量負荷は、第1の上部電極4による質量負荷よりも大きい必要がある。すなわち、第2の上部電極27の電極厚「 d_2 」と密度「 ρ_2 」の積（ $d_2\rho_2$ ）は、第1の上部電極4の電極厚「 d_1 」と密度「 ρ_1 」の積（ $d_1\rho_1$ ）よりも大きい必要がある。

このとき、第1の上部電極4と第2の上部電極27とが同じ材料である場合は

、密度が同じであるから、第2の電極27の電極厚「 d_2 」が第1の電極4の電極厚「 d_1 」より厚い必要があり、これは、図7に示した実施例2に係る薄膜圧電体と同じ構造になる。

実施例7.

この発明の実施例7に係る薄膜圧電素子について図16を参照しながら説明する。図16は、この発明の実施例7に係る薄膜圧電素子の音響的共振部を拡大した部分を示す図である。なお、この実施例7に係る薄膜圧電素子の他の構成は実施例4と同様である。

この実施例7では、第2の上部電極27全体を第1の上部電極4の上に重ねた構造としている。第1の上部電極4の上に第2の上部電極27が重なった部分の分散特性は、図14に示した分散特性と同じであるから、エネルギー閉じ込めの動作原理は、図13に示した実施例5に係る薄膜圧電素子の場合とほぼ同じである。

このため、図16に示した薄膜圧電素子では、図13に示した場合と同様に、第2の上部電極27の電極厚「 d_2 」や密度「 ρ_2 」は、フィルタ動作上必要な程度に第1及び第2の上部電極が重なる領域の圧電体31の遮断周波数「 f_{0n2} 」を低くできればよく、第1の上部電極4の電極厚「 d_1 」と密度「 ρ_1 」に対する制限は、図15に示した実施例6の場合より緩い。これは、第1の上部電極4の上に、第2の上部電極27を重ねた構造によるものである。

実施例8.

この発明の実施例8に係る薄膜圧電素子について図17を参照しながら説明する。図17は、この発明の実施例8に係る薄膜圧電素子の音響的共振部を拡大した部分を示す図である。なお、この実施例8に係る薄膜圧電素子の他の構成は実

施例 7 と同様である。

図 17 において、33 は第 3 の上部電極、34 は第 3 の上部電極部圧電体である。

第 3 の上部電極 33 は、薄膜圧電素子におけるフィルタ特性の設計の自由度を向上させるために挿入する。この第 3 の上部電極部圧電体 34 の分散特性は、第 1 の上部電極部圧電体 28 a の分散特性に近い。すなわち、第 3 の上部電極部圧電体 34 の遮断周波数「 f_{0n3} 」は、第 1 の上部電極部圧電体 28 a の遮断周波数「 f_{0n1} 」に近いものと考えてよい。

したがって、図 17 に示した薄膜圧電体の分散特性は、図 14 を用いて考えればよい。つまり、エネルギー閉じ込めの反射面 26 は、第 2 の上部電極 27 を第 1 の上部電極 4 に重ねた内側の端面の下側となる。

この発明は、チタン酸鉛 (PbTiO_3)、ジルコン酸チタン酸鉛 (PZT)、タンタル酸リチウム (LiTaO_3)、ポアソン比 σ が $1/3$ 以下となる圧電体に限定されることなく、高域遮断形の分散特性を示す全ての圧電体に適用できる。

また、図 1 及び図 2 に示した共振器に、図 11、図 13、図 15、図 16 に示した方法を適用してもよい。

さらに、図 17 に示したように、2 電極構成よりも多くの電極により薄膜圧電素子が構成される場合でも、図 7、図 8、図 11、図 13、図 15、図 16 に示した方法を適用できる。

また、図 1、図 2 及び図 3 では、エアブリッジ 21 を用いて上部電極 4 から電気信号を取り出しているが、上部電極 4 から電気信号を取り出す方法は、エアフ

ッジ 21 に限定される必要はなく、圧電薄膜 3 表面に線路を構成する方法や他の任意の方法でよい。

さらに、バイアホール 5 は、半導体基板 19 裏面から穴をあける構造を示したが、これに限定される必要はなく、半導体基板 19 表面から、異方性エッチング等の方法を用いて、音響的共振部 6 の下側に空隙を設ける方法でも、予め用意された薄膜をエッチング等による除去して層状の空隙を設ける方法でも、音響的性質の異なる層を数層重ねて、厚み方向に伝搬する弾性波を前記多層構造で反射する方法でも同じである。

つづいて、上部電極の上側等に誘電体を設けた薄膜圧電素子について、以下の実施例 9 ～ 15 として説明する。

実施例 9 .

この発明の実施例 9 に係る薄膜圧電素子について図 18 から図 21 までを参照しながら説明する。図 18 は、この発明の実施例 9 に係る薄膜圧電素子の上面を示す図である。また、図 19 は、この発明の実施例 9 に係る薄膜圧電素子の断面を示す図である。なお、各図中、同一符号は同一又は相当部分を示す。

図 18 及び図 19 において、19 は半導体基板あるいは誘電体基板、2 は下部電極、3 は圧電薄膜、4 は上部電極、5 はバイアホール、6 は音響的共振部、20A は誘電体、21 はエアブリッジ、22 はパッドである。

半導体基板あるいは誘電体基板 19 は、薄膜圧電素子の音響的な特性には直接関係しないため、従来から用いられているシリコン (Si) 半導体基板、ガリウムひ素 (GaAs) 半導体基板のような半導体基板でも、ガラス、サファイア、酸化マグネシウム (MgO) のような半導体特性のない絶縁性の誘電体基板のいずれでもよい。特に、シリコン (Si) 基板、ガリウムひ素 (GaAs) 基板、

酸化マグネシウム (MgO) 基板は、耐高温特性がよく、優れた基板材料である。以下、半導体基板あるいは誘電体基板 19 を総称して半導体基板 19 と記す。

この半導体基板 19 の上に、下部電極 2 を形成する。半導体基板 19 と下部電極 2 との間に、酸化シリコン (SiO 、 SiO_2) や窒化シリコン (SiN) 等の誘電体層を挿入する場合もある。これは、以下に示す全ての実施例についても同様である。下部電極 2 の上に、圧電薄膜 3 を形成し、さらに圧電薄膜 3 の上に上部電極 4 を形成する。

エアブリッジ 21 は、上部電極 4 とパッド 22 とを電氣的に接続するために用いるが、圧電薄膜 3 表面に密着した線路を用いてパッド 22 と接続する場合もある。

半導体基板 19 の裏面からバイアホール 5 を形成し、下部電極 2 の下側の面が空気に接する構造とする。前記誘電体層を挿入する場合は、前記誘電体層も取り除いて下部電極 2 の下側の面が空気に接するようにする場合と、前記誘電体層の下側の面が空気に接するようにする場合とがある。これらの構造は、従来の薄膜圧電素子と同じである。

しかし、この実施例 9 に係る薄膜圧電素子は、圧電薄膜 3 に高域遮断形の分散特性を有する材料を用い、かつ、上部電極 4 の外側に、誘電体 20 A の領域を形成している。

図 20 は、図 19 に示した音響的共振部 6 を拡大した図である。同図において、23 a は上部電極 4 部の圧電体、23 b は誘電体 20 A 部の圧電体、23 c は無電極部圧電体、26 は閉じ込め共振の反射面である。

図 21 は、図 20 に示した薄膜圧電素子の分散特性を示す図である。同図において、24 は上部電極部圧電体 23 a の分散特性、25 は誘電体部圧電体 23 b

の分散特性である。

図20に示した薄膜圧電素子の下部電極2と、図19に示した薄膜圧電素子の下部電極2とは、構造が異なるが、図20に示した下部電極2の方が簡略化して示してある。また、図19に示した薄膜圧電素子は、エアブリッジ21と上部電極4とが電氣的に接続されており、エアブリッジ21と上部電極4との間に、誘電体20Aがない図を示しているが、図20では誘電体20Aがある様に示されている。実際の薄膜圧電素子は、図19に示す構造をしている。

圧電薄膜3には、高域遮断形の分散特性を示す材料を用いる。例えば、チタン酸鉛(PbTiO_3)の基本厚み縦振動、ジルコン酸チタン酸鉛(PZT)の3次厚みすべり振動、タンタル酸リチウム(LiTaO_3)Z板の基本厚み縦振動等の他に、ポアソン比 σ が $1/3$ 以下となる圧電体の基本厚み縦振動等が、高域遮断形の分散特性を示す。これらの圧電体は、極めて大きな電気機械結合係数を示し、酸化亜鉛(ZnO)や窒化アルミニウム(AlN)を用いた従来の薄膜圧電素子に比べて、より良好な素子性能を実現できる。なお、ポアソン比 σ は、圧電体材料の特性を表わす材料定数の一種であり、例えば、「弾性波素子技術ハンドブック」、日本学術振興会弾性波素子技術第150委員会編、pp. 10-21、1991(文献8)に詳しく説明されている。

上部電極部圧電体23aの遮断周波数「 f_{om} 」は、上部電極4と下部電極2の厚みと質量負荷効果のために、無電極部圧電体23cの遮断周波数「 f_{on} 」より低くなる。

また、上部電極4の上側の領域に誘電体20Aを形成すると、誘電体部圧電体23bの遮断周波数「 f_{or2} 」は、上部電極4と誘電体20Aの厚みと質量負荷効果のために、上部電極部圧電体23aの遮断周波数「 f_{om} 」よりもさらに低くなる。

このため、上部電極部圧電体 23 a の遮断周波数「 f_{om} 」と、誘電体部圧電体 23 b の遮断周波数「 f_{or2} 」との間の周波数域では、上部電極部圧電体 23 a 中では伝搬域となり、誘電体部圧電体 23 b 中では遮断域となるので、上部電極部圧電体 23 a と誘電体部圧電体 23 b との境界面が反射面 26 となって、弾性波のエネルギーを閉じ込め、閉じ込め共振が実現できる。

従って、このような構造をとることにより、電気機械結合係数の大きいチタン酸鉛 ($PbTiO_3$)、ジルコン酸チタン酸鉛 (PZT)、タンタル酸リチウム ($LiTaO_3$) 等の圧電体を用いて、エネルギー閉じ込めを実現できるため、素子性能がより良好な薄膜圧電素子を実現できる。

実施例 10.

この発明の実施例 10 に係る薄膜圧電素子について図 22～図 24 を参照しながら説明する。図 22 は、この発明の実施例 10 に係る薄膜圧電素子の上面を示す図である。また、図 23 は、この発明の実施例 10 に係る薄膜圧電素子の断面を示す図である。さらに、図 24 は、図 23 に示した音響的共振部を拡大して示した図である。なお、この実施例 10 に係る薄膜圧電素子は、2 電極構成のフィルタの例である。

図 24 の薄膜圧電素子の分散特性は、図 21 に示した分散特性と同じである。圧電薄膜 3 は高域遮断形の分散特性を示し、誘電体部圧電体 23 b の遮断周波数「 f_{or2} 」は、上部電極部圧電体 23 a の遮断周波数「 f_{om} 」よりも低くなる。

このため、上部電極部圧電体 23 a の遮断周波数「 f_{om} 」と、誘電体部圧電体 23 b の遮断周波数「 f_{or2} 」との間の周波数域では、上部電極部圧電体 23 a 中では伝搬域となり、誘電体部圧電体 23 b 中では遮断域となるので、上部電極部圧電体 23 a と誘電体部圧電体 23 b との境界面が反射面 26 となって、弾性波のエネルギーを閉じ込め、閉じ込め共振が実現できる。

閉じ込め共振では、圧電薄膜 3 の表面に平行な方向に共振を起こし、フィルタの場合は、上部電極 4 が 2 つに分かれているので、2 つの上部電極 4 が同じ電位になる対称モードの共振と、逆極性となる非対称モードの共振が生じる。そして、対称モード共振を起こす共振周波数と、非対称モード共振を起こす共振周波数とが接近する場合に、2 つの上部電極 4 間で結合が生じ、フィルタ特性を示すようになる。

2 つの共振モードの共振周波数は、使用する圧電薄膜 3 の種類と、上部電極 4 の間隔と、上部電極 4 の物理寸法と、誘電体 20A の物理寸法と、電極及び誘電体の材料によって決まる。エネルギー閉じ込めを用いたフィルタ動作については、文献 3 中に詳しく述べられている。

フィルタの場合、閉じ込め共振が起きないと、挿入損失が増大したり、帯域外に多くのスプリアスが発生したりするが、図 24 に示すような薄膜圧電素子を用いることにより、閉じ込め共振を実現し、電気機械結合係数の大きい圧電薄膜を用いることができることと合わせて、より低損失で良好な特性の薄膜圧電素子を実現できる。

実施例 11.

この発明の実施例 11 に係る薄膜圧電素子について図 25 を参照しながら説明する。図 25 は、この発明の実施例 11 に係る薄膜圧電素子の音響的共振部を拡大して示した図である。なお、この実施例 11 に係る薄膜圧電素子の他の構成は、実施例 10 と同様である。

図 24 に示す実施例 10 の場合と異なり、誘電体 20A は、上部電極 4 の外側部分の端より内側に形成している。閉じ込め共振は、反射面 26 より内側で生じるため、反射面 26 の外側に、誘電体 20A のない領域が存在しても、原理的に

は、閉じ込め共振と関係なく、図 2 5 に示す薄膜圧電素子は、図 2 4 に示した薄膜圧電素子とほぼ同様の動作をする。

図 2 0、図 2 4 及び図 2 5 に示したような上部電極 4 の上に誘電体 2 0 A を形成するには、予め、上部電極 4 の上面全てに誘電体 2 0 A を形成し、その後に、エッチング等の手段により、不要な誘電体 2 0 A をを除去する方法と、まず、上部電極 4 を形成し、次に、リフトオフやマスキング等の方法で誘電体 2 0 A を形成する領域を限定する方法がある。この実施例 1 1 に係る薄膜圧電素子は、これらのいずれの製造法の場合でも適用できる。

また、使用する誘電体は、酸化シリコン (SiO 、 SiO_2)、窒化シリコン (SiN) 等のシリコン系の化合物でも、2酸化チタン (TiO_2) 等のチタン系の化合物でも、あるいは、その他の誘電体でもよく、薄膜圧電素子に使用する各部材料との組み合わせに適した誘電体を用いればよい。

実施例 1 2 .

この発明の実施例 1 2 に係る薄膜圧電素子について図 2 6 ~ 図 2 9 を参照しながら説明する。図 2 6 は、この発明の実施例 1 2 に係る薄膜圧電素子の上面を示す図である。また、図 2 7 は、この発明の実施例 1 2 に係る薄膜圧電素子の断面を示す図である。

図 2 6 及び図 2 7 において、4 は上部電極、2 7 A は誘電体である。

図 2 8 は、図 2 7 に示した音響的共振部を拡大して示した図である。同図において、2 8 a は上部電極 4 部の圧電体、2 8 b は誘電体 2 7 A 部の圧電体、2 8 c は無電極部圧電体である。

図 2 9 は、図 2 8 に示した薄膜圧電素子の分散特性を示す図である。同図にお

いて、29は上部電極部圧電体28aの分散特性、30は誘電体部圧電体28bの分散特性である。

上部電極4の電極厚を「 d_1 」、密度を「 ρ_1 」とし、誘電体27Aの膜厚を「 d_2 」、密度を「 ρ_2 」とする。上部電極4の電極厚「 d_1 」と密度「 ρ_1 」の積（ $d_1\rho_1$ ）よりも、誘電体27Aの膜厚「 d_2 」と密度「 ρ_2 」の積（ $d_2\rho_2$ ）の方が大きい場合、上部電極部圧電体28aの遮断周波数「 f_{om} 」よりも誘電体部圧電体28bの遮断周波数「 f_{or2} 」の方が低くなる。

このため、上部電極部圧電体28aの遮断周波数「 f_{om} 」と誘電体部圧電体28bの遮断周波数「 f_{or2} 」との間の周波数域でエネルギー閉じ込めを実現することができ、良好な性能の薄膜圧電素子を実現できる。

実施例13.

この発明の実施例13に係る薄膜圧電素子について図30及び図31を参照しながら説明する。図30は、この発明の実施例13に係る薄膜圧電素子の音響的共振部を拡大した部分を示す図である。また、図31は、図30に示した薄膜圧電素子の分散特性を示す図である。なお、この実施例13に係る薄膜圧電素子の他の構成は実施例12と同様である。

図30において、31は上部電極4と誘電体27Aが重なった領域の圧電体である。

図31において、32は上部電極4と誘電体27Aが重なった領域の圧電体31の分散特性である。

図30に示した薄膜圧電素子では、閉じ込め共振の反射面26は、上部電極4の上に重なった誘電体27Aの端面の下側となる。この上部電極4と誘電体27

Aが重なった領域の圧電体31の遮断周波数「 f_{or2} 」は、上部電極4の電極厚「 d_1 」と質量負荷効果、誘電体27Aの膜厚「 d_2 」と質量負荷効果の両方により、上部電極部圧電体28aの遮断周波数「 f_{om} 」より低い周波数になる。

このため、上部電極部圧電体28aの遮断周波数「 f_{om} 」と上部電極4と誘電体27Aが重なった領域の圧電体31の遮断周波数「 f_{or2} 」との間の周波数域でエネルギー閉じ込めが生じる。すなわち、エネルギー閉じ込めによるフィルタ動作が実現できる。

図30に示した薄膜圧電素子では、誘電体27Aの膜厚「 d_2 」や密度「 ρ_2 」は、フィルタ動作上必要な程度に上部電極4と誘電体27Aが重なる領域の圧電体31の遮断周波数「 f_{or2} 」を低くできればよく、上部電極4の電極厚「 d_1 」と密度「 ρ_1 」に対する制限は、図28に示した場合より緩い。これは、上部電極4の上に、誘電体27Aを重ねた構造によるものである。

実施例14.

この発明の実施例14に係る薄膜圧電素子について図32を参照しながら説明する。図32は、この発明の実施例14に係る薄膜圧電素子の音響的共振部を拡大した部分を示す図である。なお、この実施例14に係る薄膜圧電素子の他の構成は実施例12と同様である。

図32に示した薄膜圧電素子は、図28に示した薄膜圧電素子における上部電極4と誘電体27Aとを接続させたものに相当する。したがって、エネルギー閉じ込めの動作原理は、図28に示した薄膜圧電体の場合と同じである。

このため、誘電体27Aによる質量負荷は、上部電極4による質量負荷よりも大きい必要がある。すなわち、誘電体27Aの膜厚「 d_2 」と密度「 ρ_2 」の積（ $d_2\rho_2$ ）は、上部電極4の電極厚「 d_1 」と密度「 ρ_1 」の積（ $d_1\rho_1$ ）よりも大

きい必要がある。

実施例 15.

この発明の実施例 15 に係る薄膜圧電素子について図 33 を参照しながら説明する。図 33 は、この発明の実施例 15 に係る薄膜圧電素子の音響的共振部を拡大した部分を示す図である。なお、この実施例 15 に係る薄膜圧電素子の他の構成は実施例 12 と同様である。

図 33 において、33 は第 2 の上部電極、34 は第 2 の上部電極部圧電体である。

第 2 の上部電極 33 は、薄膜圧電素子におけるフィルタ特性の設計の自由度を向上させるために挿入する。この第 2 の上部電極部圧電体 34 の分散特性は、第 1 の上部電極部圧電体 28a の分散特性に近い。すなわち、第 2 の上部電極部圧電体 34 の遮断周波数「 f_{of3} 」は、第 1 の上部電極部圧電体 28a の遮断周波数「 f_{om} 」に近いものと考えてよい。

したがって、図 33 に示した薄膜圧電体の分散特性は、図 31 を用いて考えればよい。つまり、エネルギー閉じ込めの反射面 26 は、誘電体 27A を第 1 の上部電極 4 に重ねた内側の端面の下側となる。

この発明は、チタン酸鉛 ($PbTiO_3$)、ジルコン酸チタン酸鉛 (PZT)、タンタル酸リチウム ($LiTaO_3$)、ポアソン比 σ が $1/3$ 以下となる圧電体に限定されることなく、高域遮断形の分散特性を示す全ての圧電体に適用できる。

また、図 18 及び図 19 に示した共振器に、図 28、図 30、図 32 に示した方法を適用してもよい。

さらに、図 33 に示したように、2 電極構成よりも多くの電極により薄膜圧電素子が構成される場合でも、図 24、図 25、図 28、図 30、図 32 に示した方法を適用できる。

また、図 18、図 19 及び図 20 では、エアブリッジ 21 を用いて上部電極 4 から電気信号を取り出しているが、上部電極 4 から電気信号を取り出す方法は、エアブリッジ 21 に限定される必要はなく、圧電薄膜 3 表面に線路を構成する方法や他の任意の方法でよい。

さらに、バイアホール 5 は、半導体基板 19 裏面から穴をあける構造を示したが、これに限定される必要はなく、半導体基板 19 表面から、異方性エッチング等の方法を用いて、音響的共振部 6 の下側に空隙を設ける方法でも、予め用意された薄膜をエッチング等による除去して層状の空隙を設ける方法でも、音響的性質の異なる層を数層重ねて、厚み方向に伝搬する弾性波を前記多層構造で反射する方法でも同じである。

産業上の利用の可能性

まず、この発明に係る薄膜圧電素子は、上部電極の上側等に厚みを大きくした第 2 の上部電極を設けたもので、以下の通りである。

この発明に係る薄膜圧電素子は、以上説明したとおり、基板と、前記基板の一面に形成された下部電極と、前記下部電極上に形成された圧電薄膜と、前記圧電薄膜上に形成された第 1 の上部電極とを備えた薄膜圧電素子において、さらに、前記第 1 の上部電極の中心からみて前記圧電薄膜上の前記第 1 の上部電極の外側に形成され、前記第 1 の上部電極よりも質量負荷が大きい第 2 の上部電極を備え、前記圧電薄膜が高域遮断形の分散特性を有するので、質量負荷の大きい第 2 の上部電極部圧電体の遮断周波数を第 1 の上部電極部圧電体の遮断周波数よりも低くすることができ、第 1 の上部電極部側の領域で弾性波のエネルギーを閉じ込め

ることができ、良好な性能を実現できるという効果を奏する。

また、この発明に係る薄膜圧電素子は、以上説明したとおり、前記第 1 及び第 2 の上部電極が一体的に形成され、前記第 2 の上部電極の厚みが、前記第 1 の上部電極よりも大きいので、厚みが大きい第 2 の上部電極の遮断周波数を第 1 の上部電極部圧電体の遮断周波数よりも低くすることができ、第 1 の上部電極部側の領域で弾性波のエネルギーを閉じ込めることができ、良好な性能を実現できるという効果を奏する。

また、この発明に係る薄膜圧電素子は、以上説明したとおり、前記第 2 の上部電極の電極厚と密度の積が、前記第 1 の上部電極の電極厚と密度の積よりも大きいので、電極厚と密度の積が大きい第 2 の上部電極の遮断周波数を第 1 の上部電極部圧電体の遮断周波数よりも低くすることができ、第 1 の上部電極部側の領域で弾性波のエネルギーを閉じ込めることができ、良好な性能を実現できるという効果を奏する。

また、この発明に係る薄膜圧電素子は、以上説明したとおり、前記第 1 の上部電極の上の一部に、前記第 2 の上部電極を重ねたので、第 2 の上部電極と第 1 の上部電極とが重なった電極部の圧電体の遮断周波数を第 1 の上部電極部圧電体の遮断周波数よりも低くすることができ、第 1 の上部電極部側の領域で弾性波のエネルギーを閉じ込めることができ、良好な性能を実現できるという効果を奏する。

また、この発明に係る薄膜圧電素子は、以上説明したとおり、前記第 1 の上部電極と前記第 2 の上部電極とを接続したので、質量負荷の大きい第 2 の上部電極部圧電体の遮断周波数を第 1 の上部電極部圧電体の遮断周波数よりも低くすることができ、第 1 の上部電極部側の領域で弾性波のエネルギーを閉じ込めることができ、良好な性能を実現できるという効果を奏する。

また、この発明に係る薄膜圧電素子は、以上説明したとおり、前記第 1 の上部電極の上に、前記第 1 の上部電極よりも幅が狭い前記第 2 の上部電極を重ねたので、第 2 の上部電極と第 1 の上部電極とが重なった電極部の圧電体の遮断周波数を第 1 の上部電極部圧電体の遮断周波数よりも低くすることができ、第 1 の上部電極部側の領域で弾性波のエネルギーを閉じ込めることができ、良好な性能を実現できるという効果を奏する。

さらに、この発明に係る薄膜圧電素子は、以上説明したとおり、前記第 1 及び第 2 の上部電極が、2 つに分かれているので、良好なフィルタ特性の性能を実現できるという効果を奏する。

また、この発明に係る薄膜圧電素子は、以上説明したとおり、さらに、前記 2 つに分かれた第 1 の上部電極の間の前記圧電薄膜上に形成された第 3 の上部電極を備えたので、良好なフィルタ特性の性能を実現できるとともに、フィルタ特性の設計の自由度を向上できるという効果を奏する。

さらに、この発明に係る薄膜圧電素子は、以上説明したとおり、前記基板を、半導体基板あるいは誘電体基板としたので、良好な性能を実現できるという効果を奏する。

さらに、この発明に係る薄膜圧電素子は、以上説明したとおり、前記圧電薄膜のポアソン比を、0.34 より小さいとしたので、電気機械結合係数が大きい圧電薄膜を用いることができ、良好な性能を実現できるという効果を奏する。

さらに、この発明に係る薄膜圧電素子は、以上説明したとおり、前記圧電薄膜が、チタン酸鉛 (PbTiO_3) を主成分とするので、電気機械結合係数が大きい圧電薄膜を用いることができ、良好な性能を実現できるという効果を奏する。

さらに、この発明に係る薄膜圧電素子は、以上説明したとおり、前記基板と前

記下部電極の間に誘電体層を挿入するので、良好な性能を実現できるという効果を奏する。

つづいて、この発明に係る薄膜圧電素子は、上部電極の上側等に誘電体を設けたもので、以下の通りである。

この発明に係る薄膜圧電素子は、以上説明したとおり、基板と、前記基板の一面に形成された下部電極と、前記下部電極上に形成された圧電薄膜と、前記圧電薄膜上に形成された上部電極とを備えた薄膜圧電素子において、さらに、前記上部電極の中心からみて前記圧電薄膜上の前記上部電極の外側に形成された誘電体を備え、前記圧電薄膜が、高域遮断形の分散特性を有するので、誘電体部圧電体の遮断周波数を上部電極部圧電体の遮断周波数よりも低くすることができ、上部電極部側の領域で弾性波のエネルギーを閉じ込めることができ、良好な性能を実現できるという効果を奏する。

また、この発明に係る薄膜圧電素子は、以上説明したとおり、前記誘電体が、前記上部電極上の一部に形成されたので、上部電極部側の領域で弾性波のエネルギーを閉じ込めることができ、良好な性能を実現できるという効果を奏する。

また、この発明に係る薄膜圧電素子は、以上説明したとおり、前記誘電体の膜厚と密度の積を、前記上部電極の電極厚と密度の積よりも大きくしたので、膜厚と密度の積が大きい誘電体の遮断周波数を上部電極部圧電体の遮断周波数よりも低くすることができ、上部電極部側の領域で弾性波のエネルギーを閉じ込めることができ、良好な性能を実現できるという効果を奏する。

また、この発明に係る薄膜圧電素子は、以上説明したとおり、前記上部電極の上の一部に、前記誘電体を重ねたので、誘電体と上部電極とが重なった電極部の圧電体の遮断周波数を上部電極部圧電体の遮断周波数よりも低くすることができ、上部電極部側の領域で弾性波のエネルギーを閉じ込めることができ、良好な性

能を実現できるという効果を奏する。

また、この発明に係る薄膜圧電素子は、以上説明したとおり、前記上部電極と前記誘電体とを接続したので、誘電体部圧電体の遮断周波数を上部電極部圧電体の遮断周波数よりも低くすることができ、上部電極部側の領域で弾性波のエネルギーを閉じ込めることができ、良好な性能を実現できるという効果を奏する。

また、この発明に係る薄膜圧電素子は、以上説明したとおり、前記上部電極の上に、前記上部電極よりも幅が狭い前記誘電体を重ねたので、誘電体と上部電極とが重なった電極部の圧電体の遮断周波数を上部電極部圧電体の遮断周波数よりも低くすることができ、上部電極部側の領域で弾性波のエネルギーを閉じ込めることができ、良好な性能を実現できるという効果を奏する。

さらに、この発明に係る薄膜圧電素子は、以上説明したとおり、前記上部電極と前記誘電体が、2つに分かれているので、良好なフィルタ特性の性能を実現できるという効果を奏する。

また、この発明に係る薄膜圧電素子は、以上説明したとおり、さらに、前記2つに分かれた第1の上部電極の間の前記圧電薄膜上に形成された第2の上部電極を備えたので、良好なフィルタ特性の性能を実現できるとともに、フィルタ特性の設計の自由度を向上できるという効果を奏する。

さらに、この発明に係る薄膜圧電素子は、以上説明したとおり、前記基板を、半導体基板あるいは誘電体基板としたので、良好な性能を実現できるという効果を奏する。

さらに、この発明に係る薄膜圧電素子は、以上説明したとおり、前記圧電薄膜のポアソン比を、0.34より小さいとしたので、電気機械結合係数が大きい圧電薄膜を用いることができ、良好な性能を実現できるという効果を奏する。

さらに、この発明に係る薄膜圧電素子は、以上説明したとおり、前記圧電薄膜が、チタン酸鉛 (PbTiO_3) を主成分とするので、電気機械結合係数が大きい圧電薄膜を用いることができ、良好な性能を実現できるという効果を奏する。

さらに、この発明に係る薄膜圧電素子は、以上説明したとおり、前記基板と前記下部電極の間に誘電体層を挿入するので、良好な性能を実現できるという効果を奏する。

請 求 の 範 囲

1. 基板と、

前記基板の一面に形成された下部電極と、

前記下部電極上に形成された圧電薄膜と、

前記圧電薄膜上に形成された第1の上部電極と

を備えた薄膜圧電素子において、

さらに、

前記第1の上部電極の中心からみて前記圧電薄膜上の前記第1の上部電極の外側に形成され、前記第1の上部電極よりも質量負荷が大きい第2の上部電極を備え、

前記圧電薄膜は、高域遮断形の分散特性を有する

ことを特徴とする薄膜圧電素子。

2. 前記第1及び第2の上部電極は一体的に形成され、前記第2の上部電極の厚みは、前記第1の上部電極よりも大きいことを特徴とする請求項1記載の薄膜圧電素子。

3. 前記第2の上部電極の電極厚と密度の積は、前記第1の上部電極の電極厚と密度の積よりも大きいことを特徴とする請求項1記載の薄膜圧電素子。

4. 前記第1の上部電極の上の一部に、前記第2の上部電極を重ねたことを特徴とする請求項1記載の薄膜圧電素子。

5. 前記第1の上部電極と前記第2の上部電極とを接続したことを特徴とする請求項1記載の薄膜圧電素子。

6. 前記第1の上部電極の上に、前記第1の上部電極よりも幅が狭い前記第2の上部電極を重ねたことを特徴とする請求項1記載の薄膜圧電素子。

7. 前記第1及び第2の上部電極は、2つに分かれていることを特徴とする請求項1記載の薄膜圧電素子。

8. さらに、前記2つに分かれた第1の上部電極の間の前記圧電薄膜上に形成された第3の上部電極を備えたことを特徴とする請求項7記載の薄膜圧電素子。

9. 前記基板は、半導体基板あるいは誘電体基板であることを特徴とする請求項1記載の薄膜圧電素子。

10. 前記圧電薄膜は、ポアソン比が0.34より小さいことを特徴とする請求項1記載の薄膜圧電素子。

11. 前記圧電薄膜は、チタン酸鉛 (PbTiO_3) を主成分とすることを特徴とする請求項1記載の薄膜圧電素子。

12. 前記基板と前記下部電極の間に誘電体層を挿入することを特徴とする請求項1記載の薄膜圧電素子。

13. 基板と、

前記基板の一面に形成された下部電極と、

前記下部電極上に形成された圧電薄膜と、

前記圧電薄膜上に形成された上部電極と

を備えた薄膜圧電素子において、

さらに、

前記上部電極の中心からみて前記圧電薄膜上の前記上部電極の外側に形成された誘電体を備え、

前記圧電薄膜は、高域遮断形の分散特性を有する

ことを特徴とする薄膜圧電素子。

14. 前記誘電体は、前記上部電極上の一部に形成されたことを特徴とする請求項13記載の薄膜圧電素子。

15. 前記誘電体の膜厚と密度の積は、前記上部電極の電極厚と密度の積よりも大きいことを特徴とする請求項13記載の薄膜圧電素子。

16. 前記上部電極の上の一部に、前記誘電体を重ねたことを特徴とする請求項13記載の薄膜圧電素子。

17. 前記上部電極と前記誘電体とを接続したことを特徴とする請求項13記載の薄膜圧電素子。

18. 前記上部電極の上に、前記上部電極よりも幅が狭い前記誘電体を重ねたことを特徴とする請求項13記載の薄膜圧電素子。

19. 前記上部電極と前記誘電体は、2つに分かれていることを特徴とする請求項13記載の薄膜圧電素子。

20. さらに、前記2つに分かれた第1の上部電極の間の前記圧電薄膜上に形成された第2の上部電極を備えたことを特徴とする請求項19記載の薄膜圧電素子。

21. 前記基板は、半導体基板あるいは誘電体基板であることを特徴とする請求項13記載の薄膜圧電素子。

22. 前記圧電薄膜は、ボアソン比が0.34より小さいことを特徴とする請求項13記載の薄膜圧電素子。

23. 前記圧電薄膜は、チタン酸鉛 (PbTiO_3) を主成分とすることを特徴とする請求項13記載の薄膜圧電素子。

24. 前記基板と前記下部電極の間に誘電体層を挿入することを特徴とする請求項13記載の薄膜圧電素子。

図 1

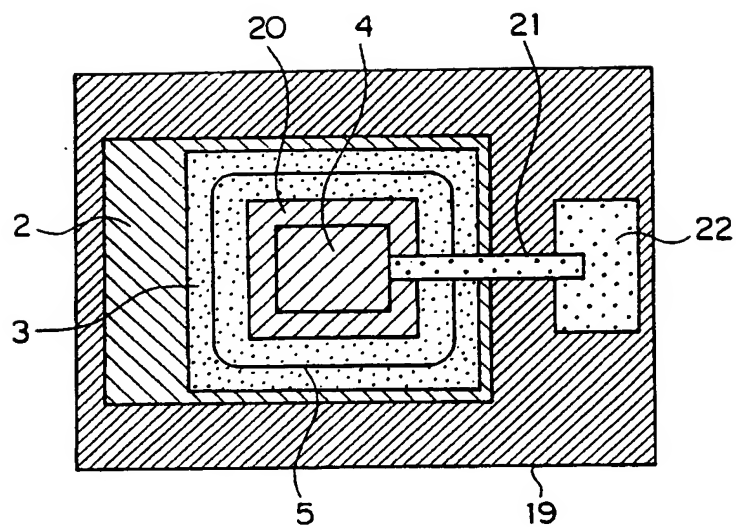


図 2

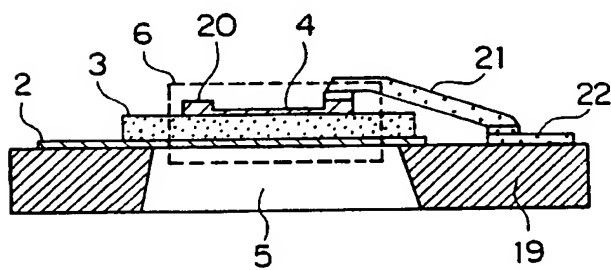


図 3

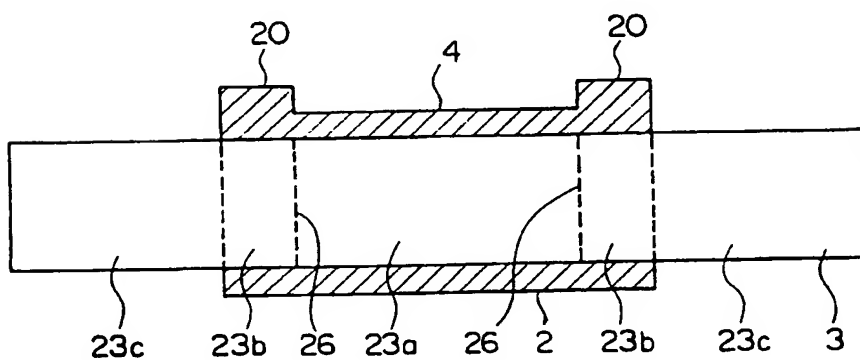


図 4

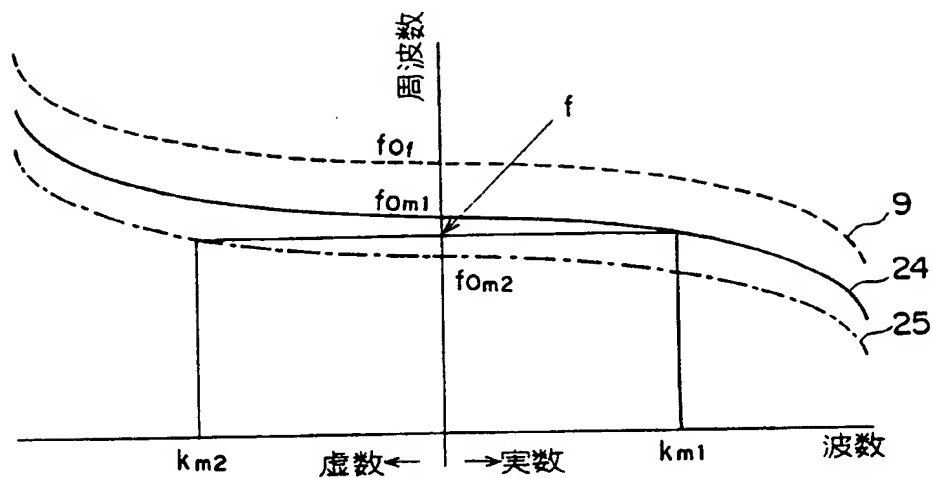


図 5

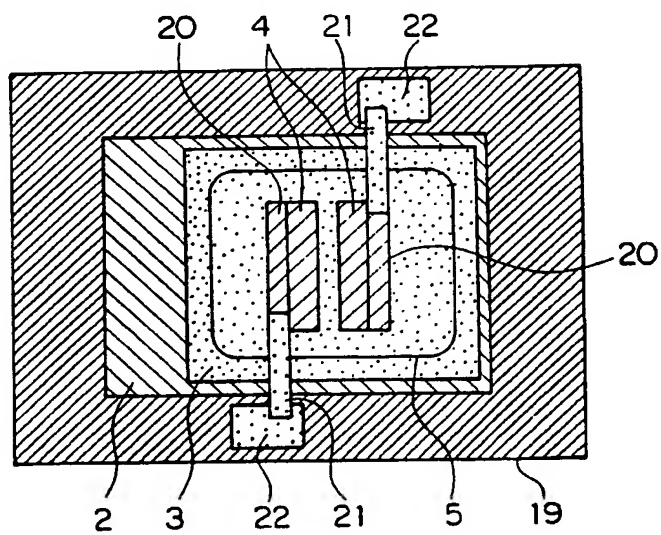


図 6

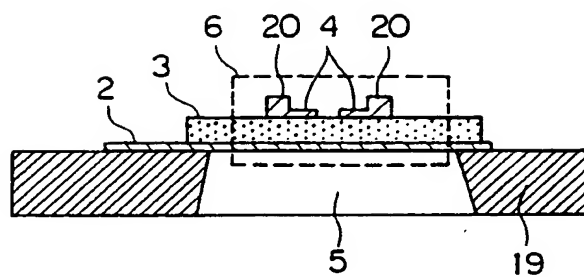


図 7

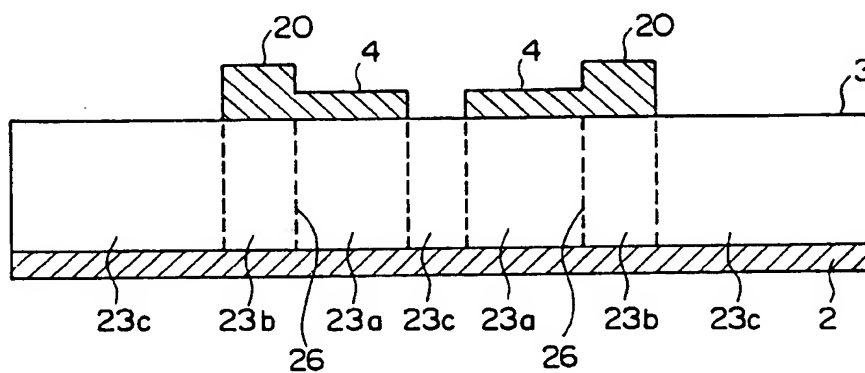


図 8

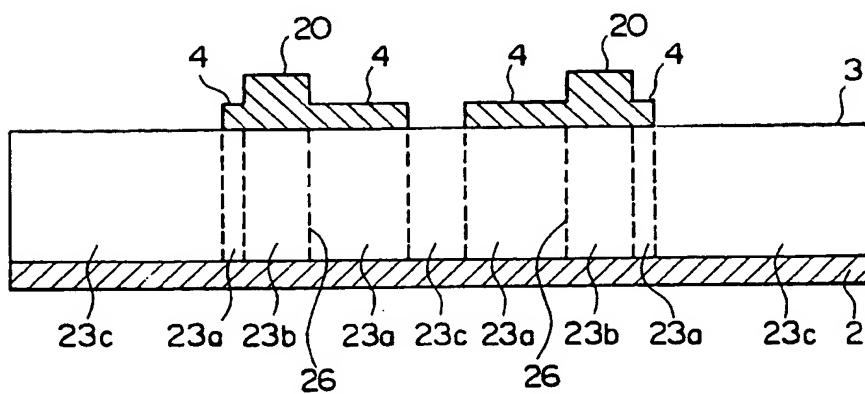


図 9

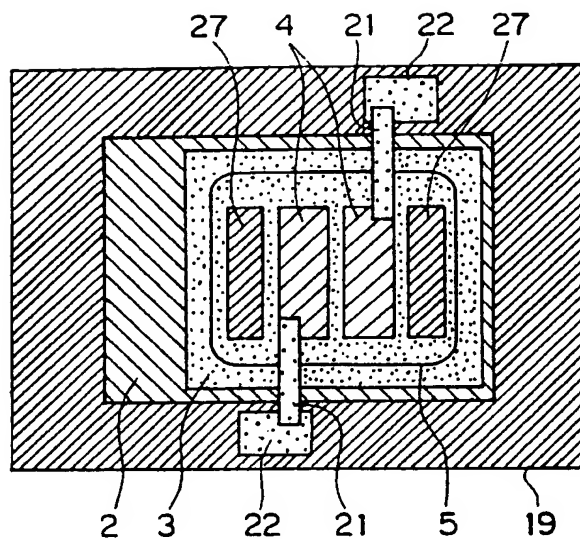


図 10

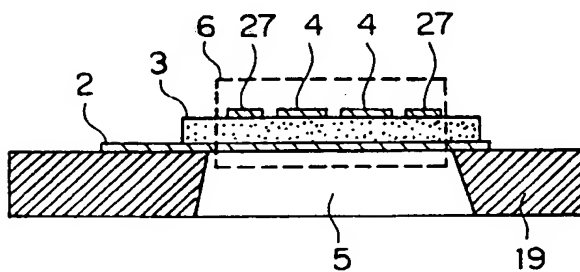


図 11

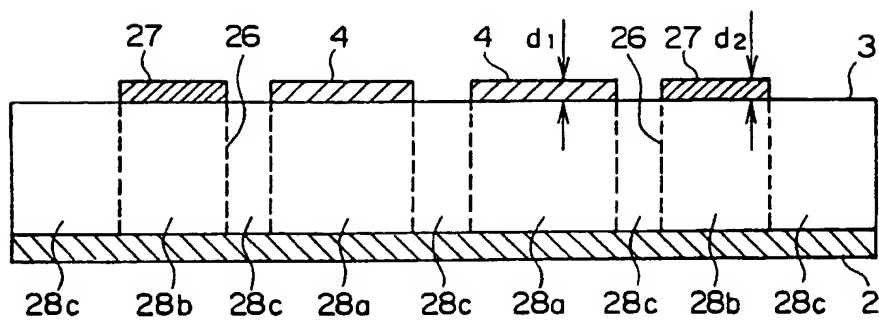


図 12

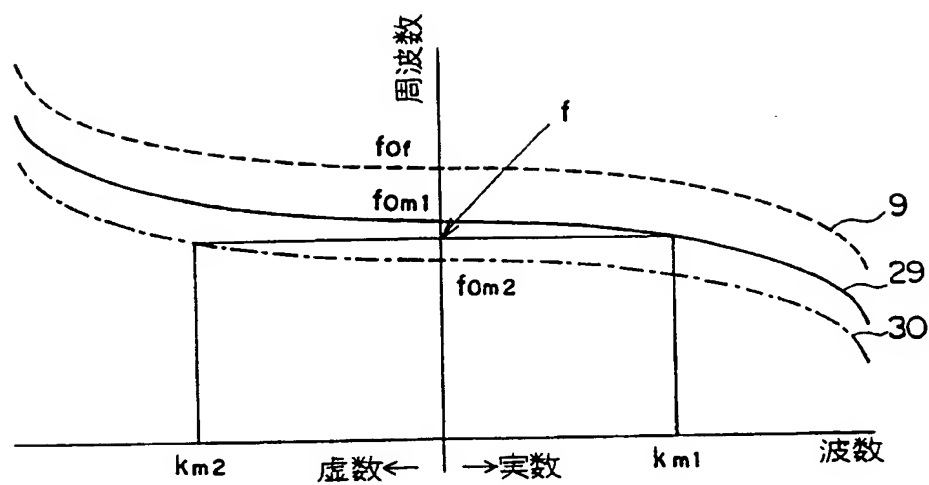


図 13

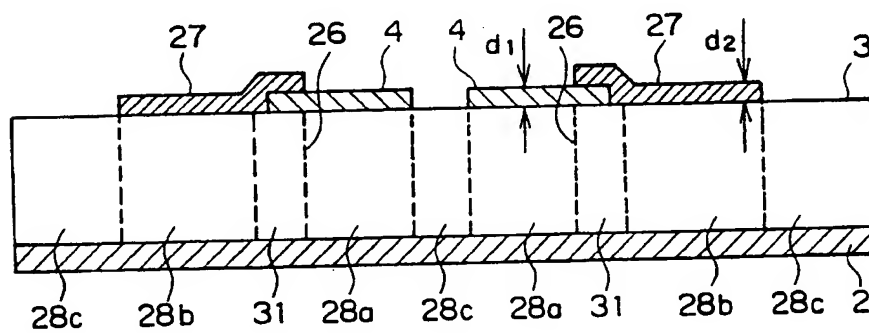


図 14

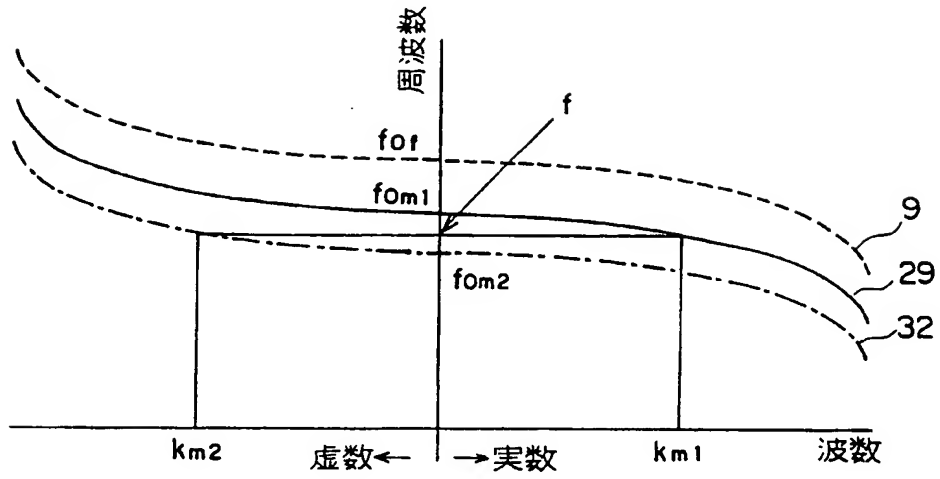


図 15

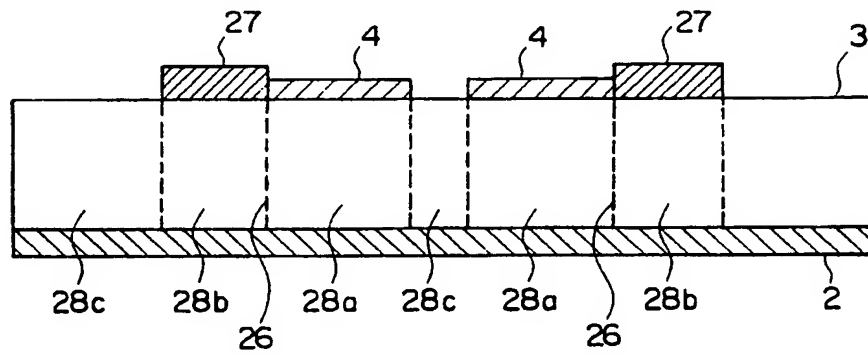


図 16

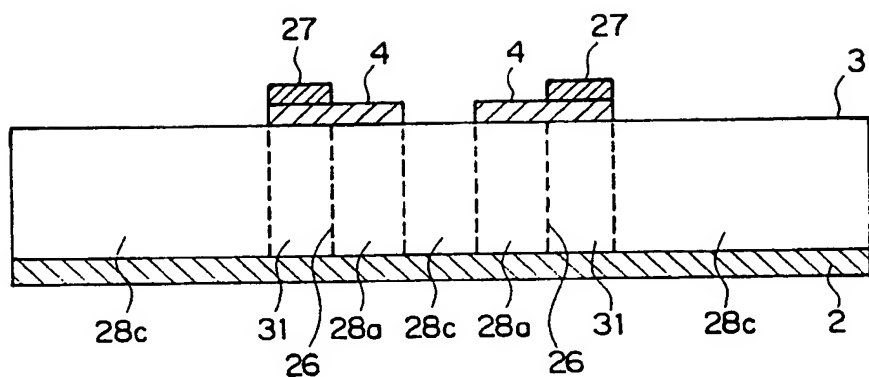


図 17

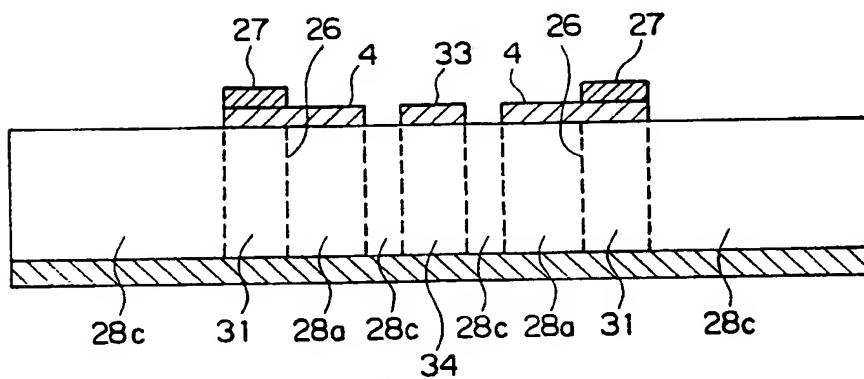


図 18

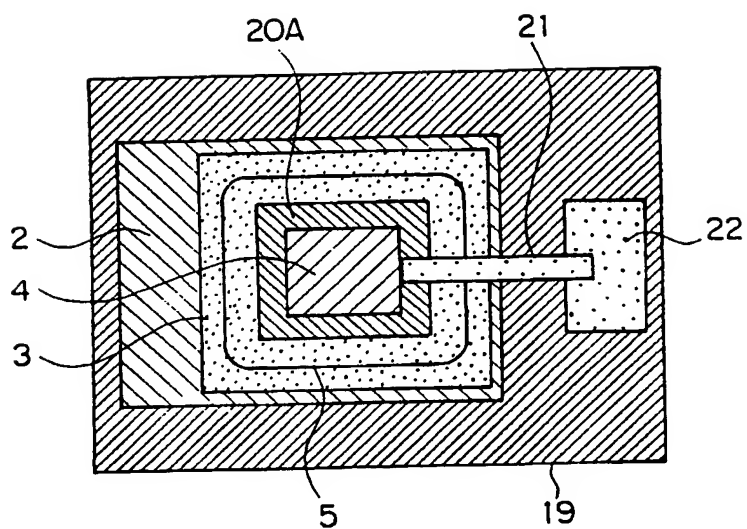


図 19

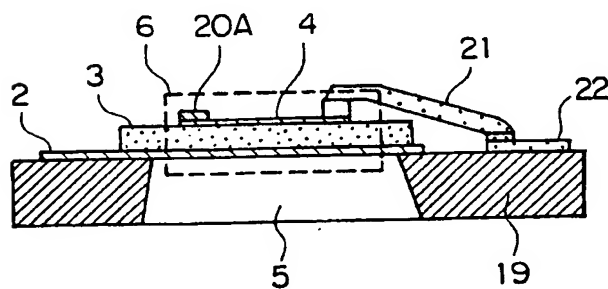


図 20

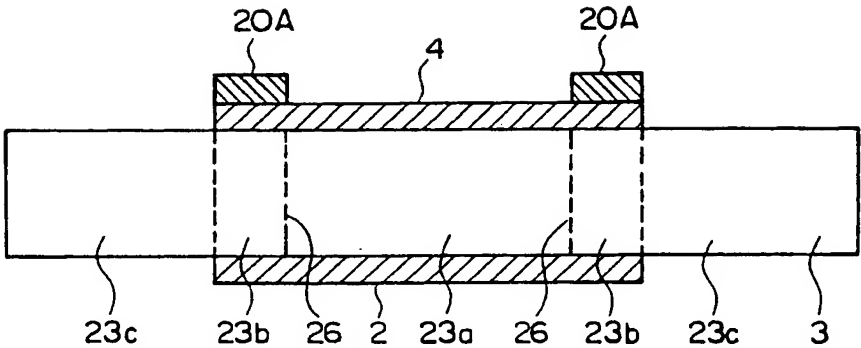


図 21

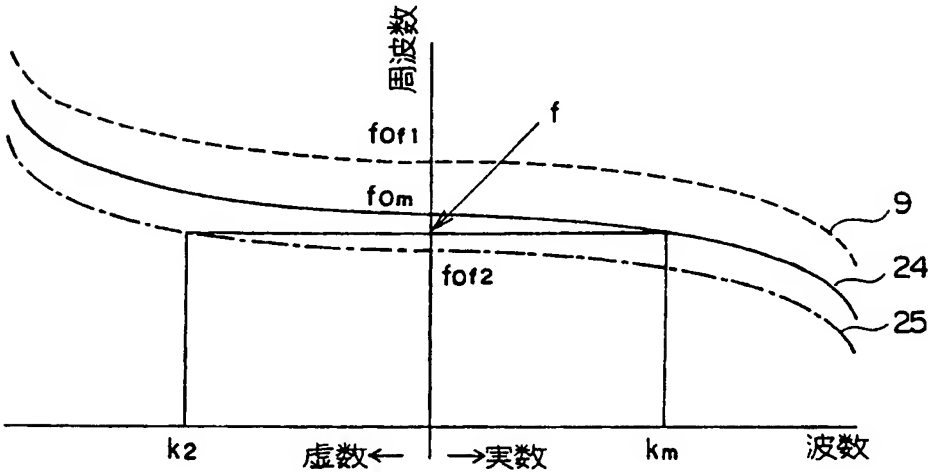


図 22

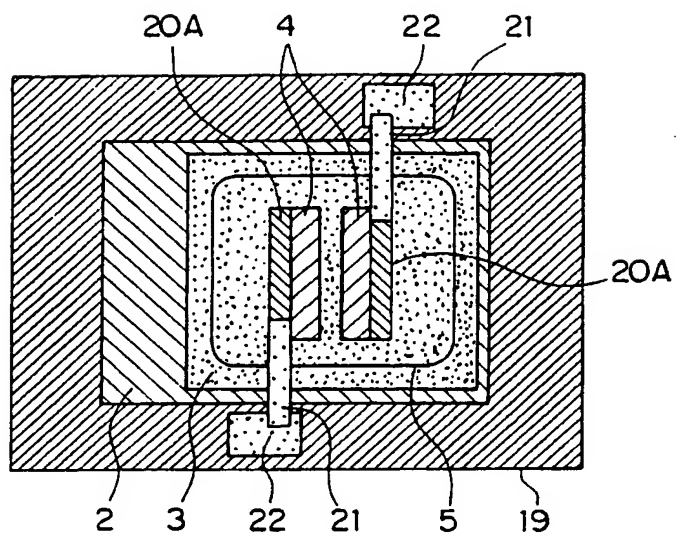


図 23

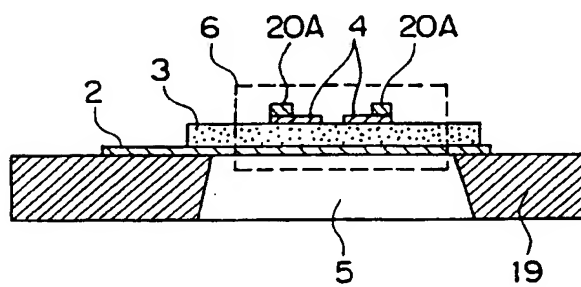


図 24

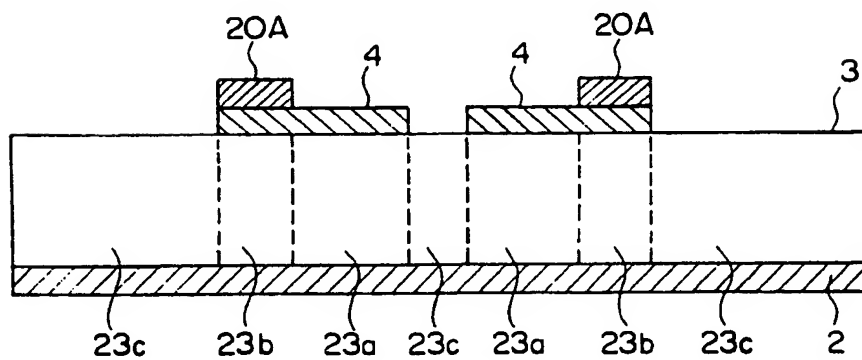


図 25

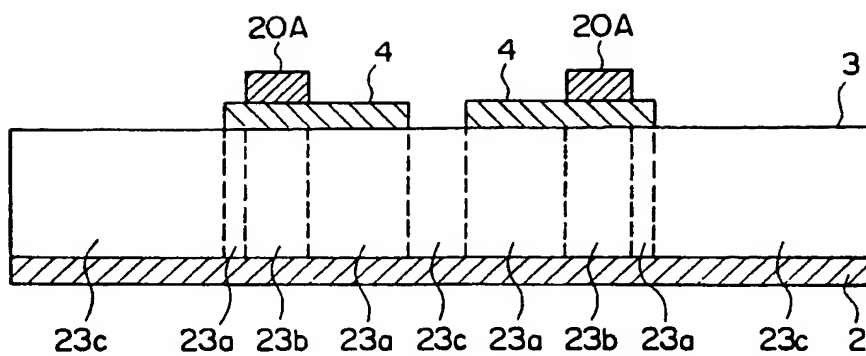


図 26

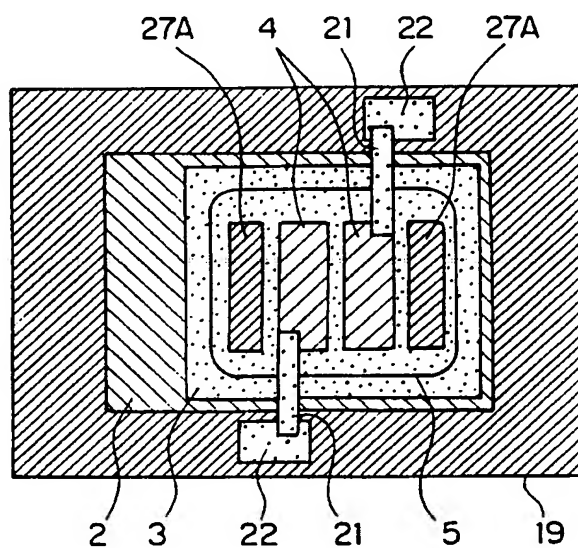


図 27

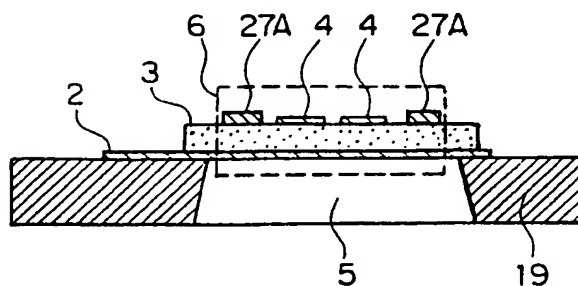


図 28

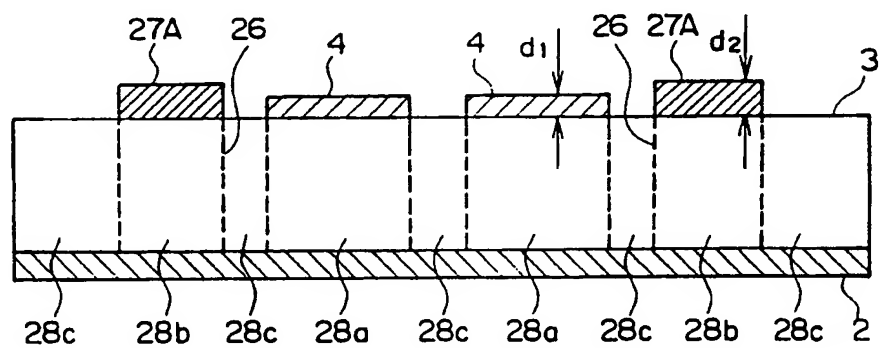


図 29

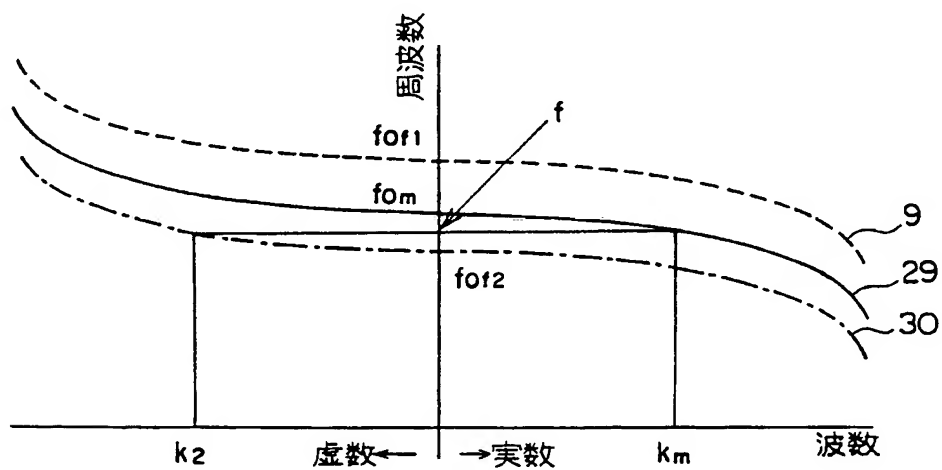


図 30

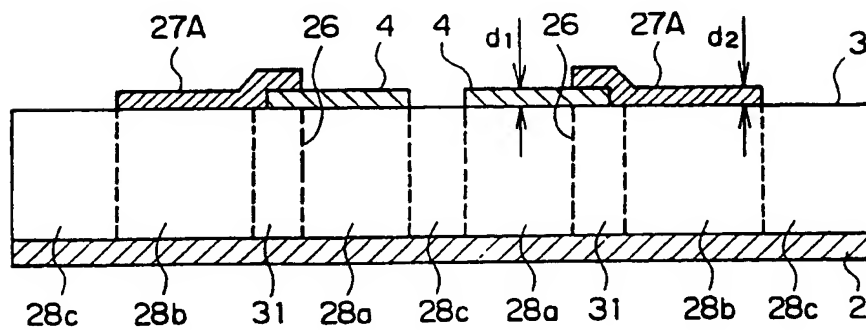


図 31

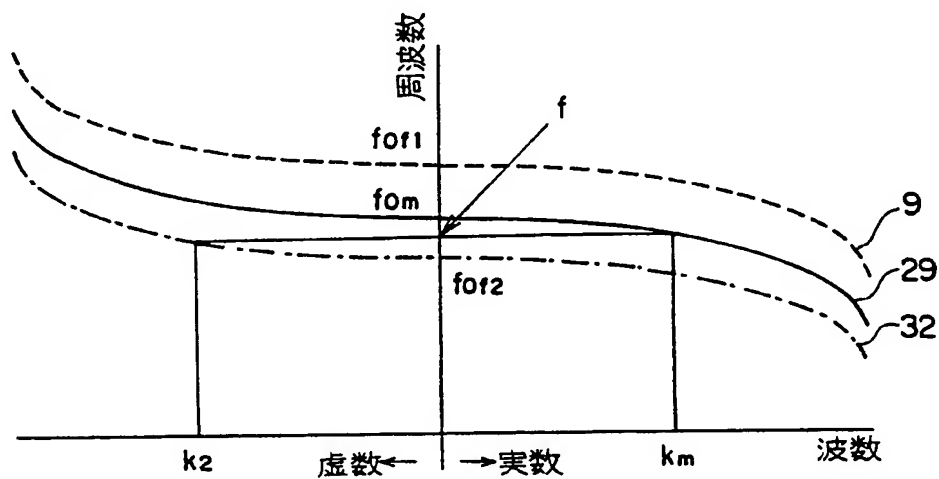


図 32

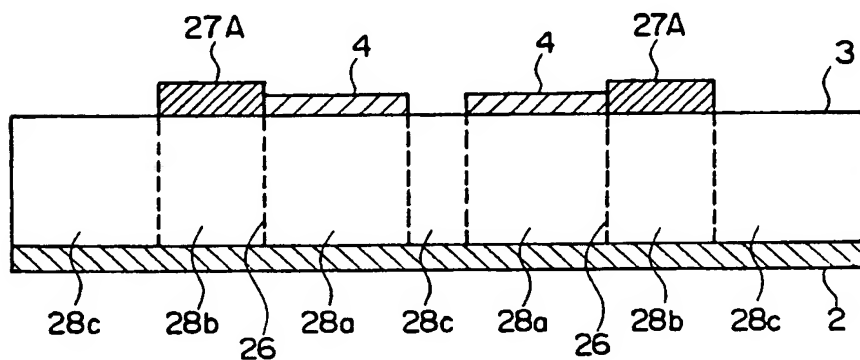


図 33

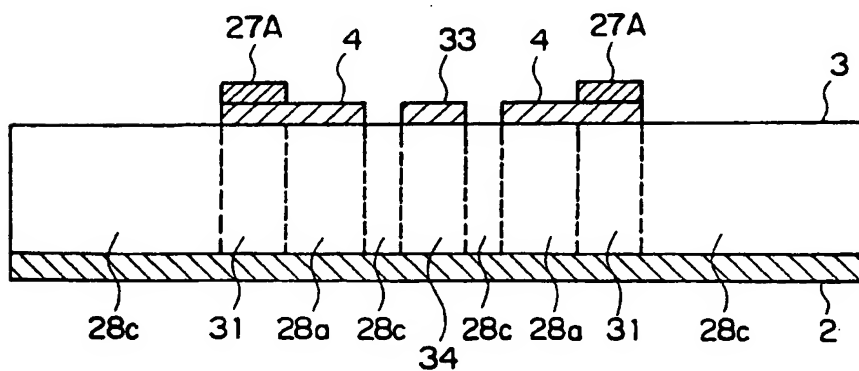


図 34

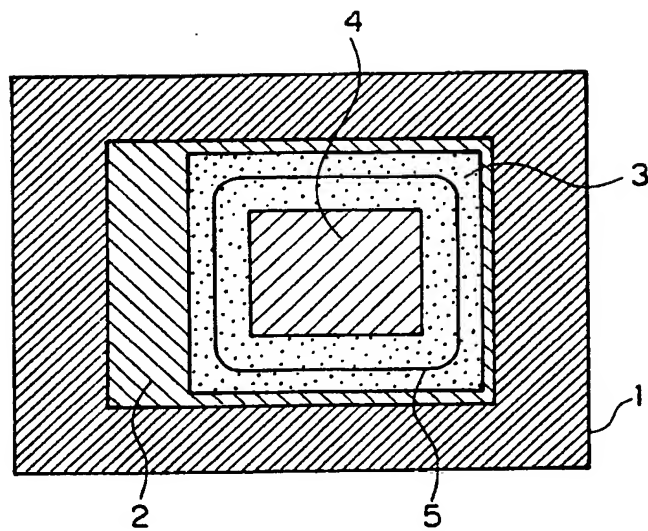


図 35

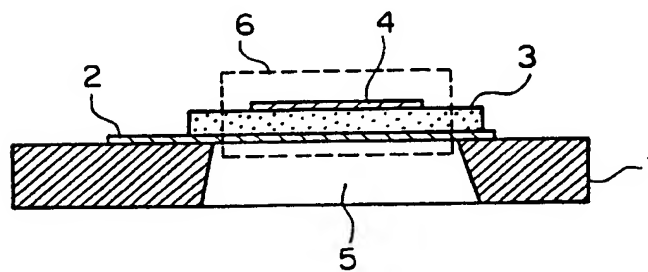


図 36

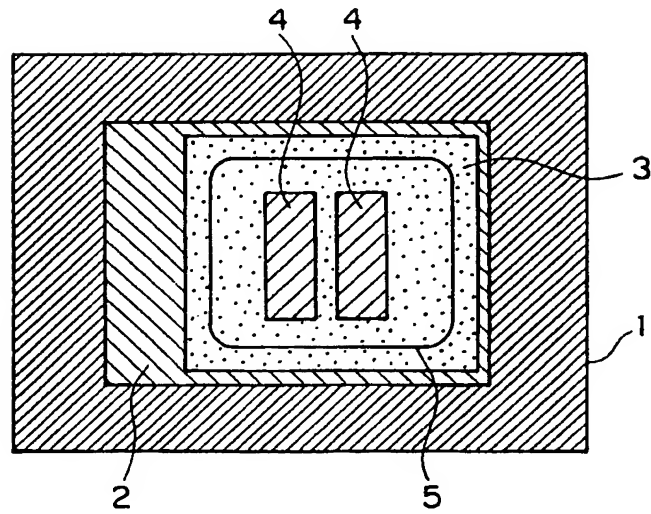


図 37

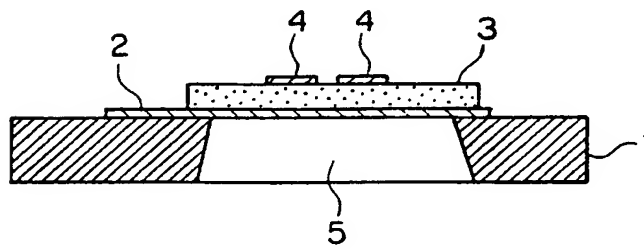


図 38

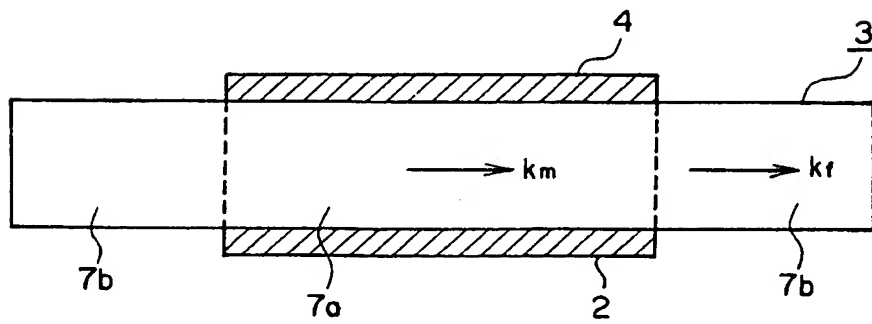


図 39

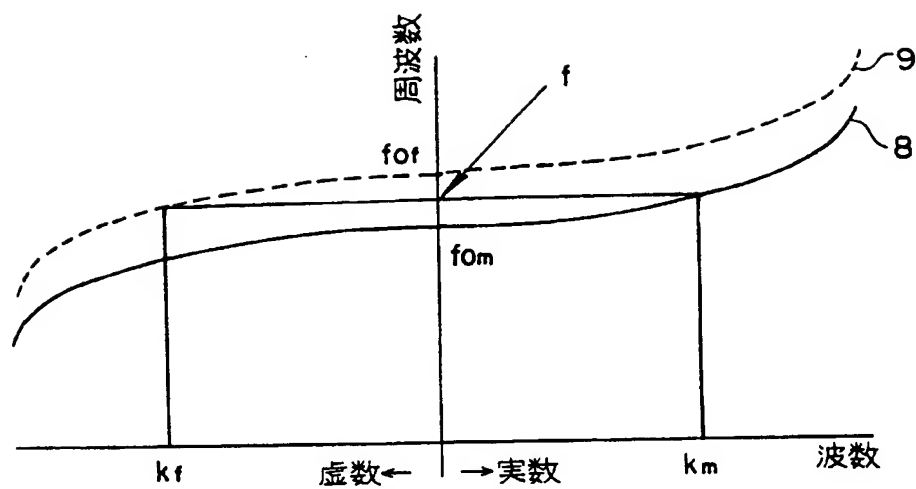


図 40

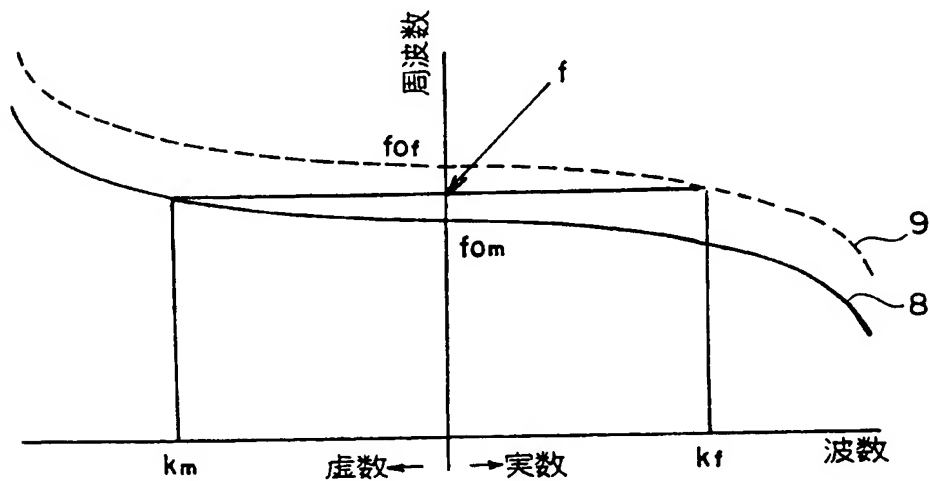


図 41

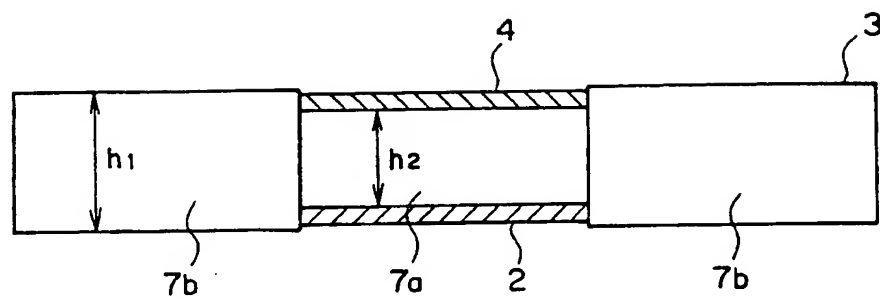


図 42

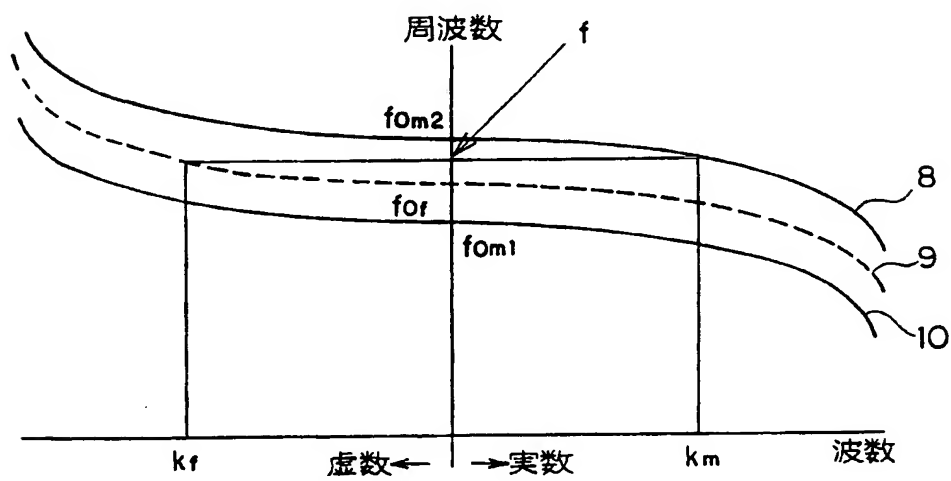


図 43

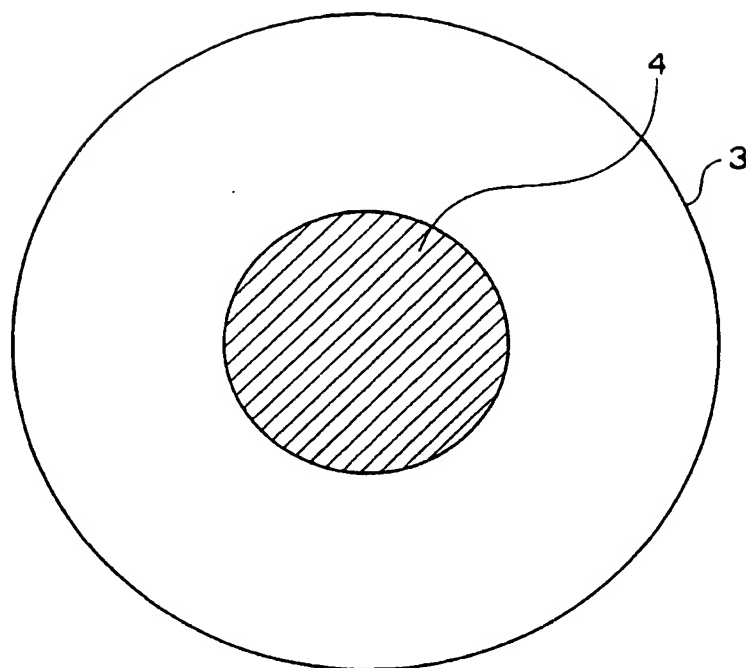


図 44

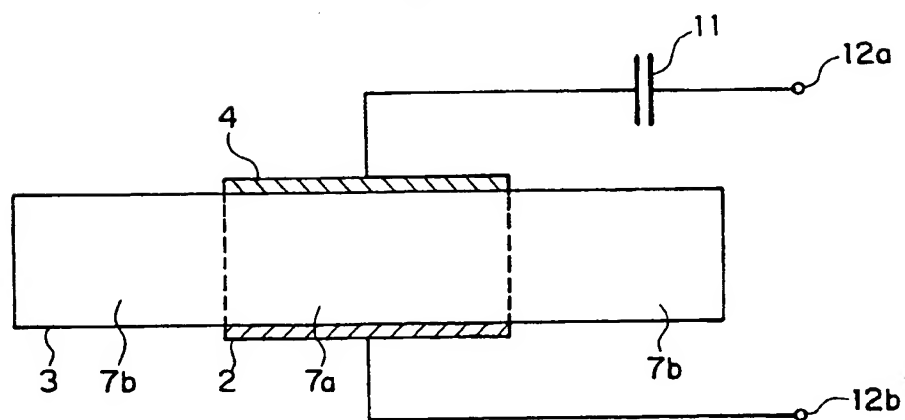


図 45

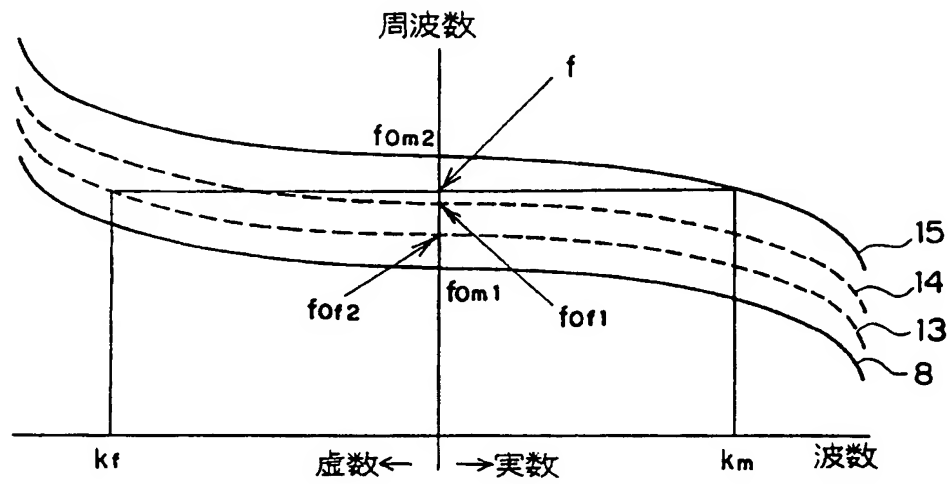


図 46

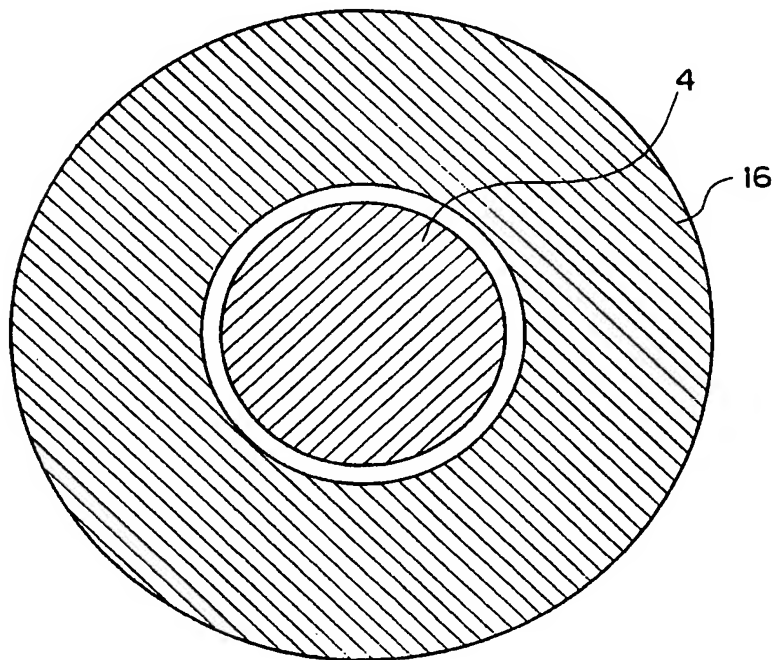


図 47

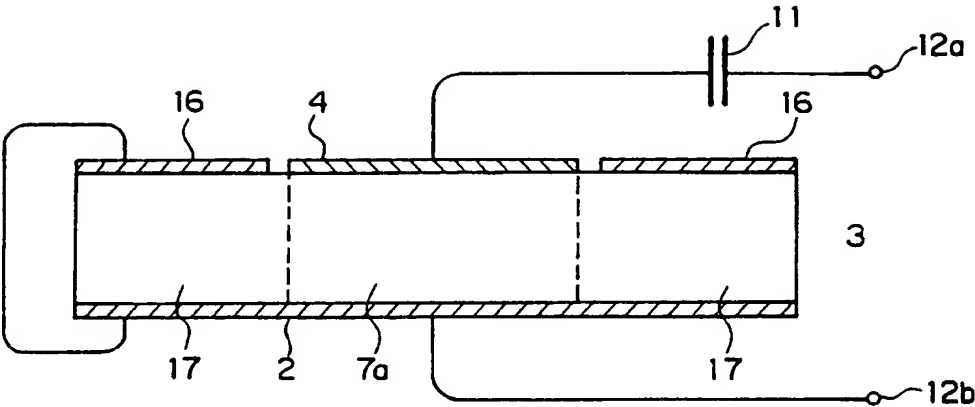
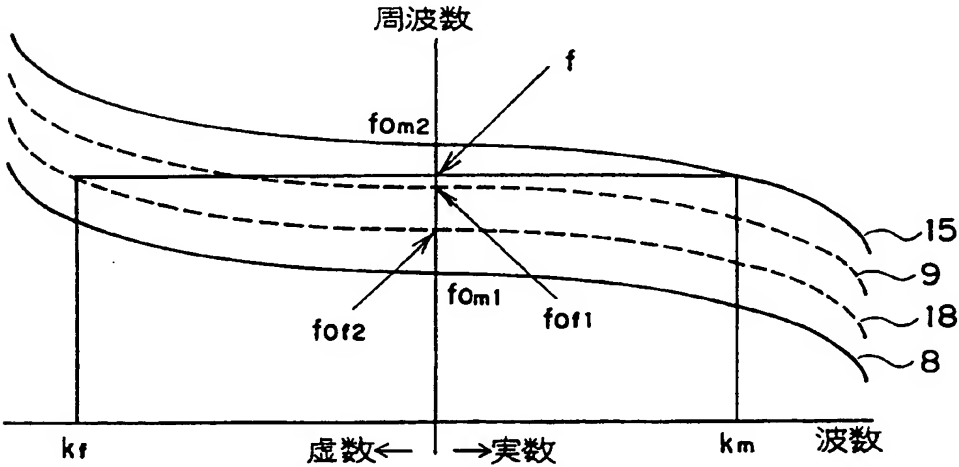


図 48



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP98/03471

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER Int.Cl ⁶ H03H9/17		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) Int.Cl ⁶ H03H9/00-9/13, H03H9/15-9/19		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Jitsuyo Shinan Koho 1926-1998 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-1998 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-1998 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-1998		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP, 57-74532, U (NEC Corp.), 8 May, 1982 (08. 05. 82), Fig. 2(b) (Family: none)	1, 3, 9-18, 21-24
A		2, 4-8, 19, 20
Y	JP, 48-55688, A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 4 August, 1973 (04. 08. 73), Fig. 6 (Family: none)	13, 15, 21-24
A		1-12, 14, 16-20
Y	JP, 8-148968, A (Mitsubishi Electric Corp.), 7 June, 1996 (07. 06. 96), Figs. 6, 7 & US, 5789845, A & CN, 1131844, A	1, 3, 9-18, 21-24
A	JP, 59-43620, A (Murata Mfg. Co., Ltd.), 10 March, 1984 (10. 03. 84), Fig. 4 (Family: none)	2, 4, 5
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier document but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed		"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family
Date of the actual completion of the international search 26 October, 1998 (26. 10. 98)		Date of mailing of the international search report 10 November, 1998 (10. 11. 98)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office		Authorized officer
Facsimile No.		Telephone No.

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 1992)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP98/03471

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP, 55-75324, A (Daini Seikosha K.K.), 6 June, 1980 (06. 06. 80), Page 2, lower right column, lines 7 to 15 (Family: none)	2, 4, 5

Form PCT/ISA/210 (continuation of second sheet) (July 1992)

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC)) Int. Cl ⁸ H03H 9/17			
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC)) Int. Cl ⁸ H03H9/00-9/13 Int. Cl ⁸ H03H9/15-9/19			
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの 日本国実用新案公報 1926-1998年 日本国公開実用新案公報 1971-1998年 日本国登録実用新案公報 1994-1998年 日本国実用新案登録公報 1996-1998年			
国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)			
C. 関連すると認められる文献			
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号	
Y	J P, 57-74532, U (日本電気株式会社), 8. 5月. 1982 (08. 05. 82), 第2図 (b), (ファミリーなし)	1, 3, 9-18, 21-24	
A		2, 4-8, 19, 20	
Y	J P, 48-55688, A (松下電器産業株式会社), 4. 8月. 1973 (04. 08. 73), 第6図, (ファミリーなし)	13, 15, 21-24	
A		1-12, 14, 16-20	
Y	J P, 8-148968, A (三菱電機株式会社), 7. 6月. 1996 (07. 06. 97), 第6及び7図 & US, 5789845, A & CN, 1131844, A	1, 3, 9-18, 21-24	
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。			
* 引用文献のカテゴリー		の日の後に公表された文献	
「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの		「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの	
「E」 先行文献ではあるが、国際出願日以後に公表されたもの		「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの	
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)		「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの	
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献		「&」 同一パテントファミリー文献	
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願			
国際調査を完了した日 26. 10. 98		国際調査報告の発送日 10.11.98	
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/J P) 郵便番号 100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		特許庁審査官 (権限のある職員) 井関 守三 印 電話番号 03-3581-1101 内線 3536	

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	J P, 59-43620, A (株式会社村田製作所), 10. 3 月. 1984 (10. 03. 84), 第4図, (ファミリーなし)	2, 4, 5
A	J P, 55-75324, A (株式会社第二精工舎), 6. 6月. 1980 (06. 06. 80), 第2頁右下欄第7行目~15行 目, (ファミリーなし)	2, 4, 5

様式PCT/ISA/210 (第2ページの続き) (1992年7月)